



ปีที่ 39 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม 2563

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

วารสาร
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

www.journal.msu.ac.th



Nerita albicilla



Nerita alveolus



Nerita chamealeon



Nerita costata



Nerita histrio



Nerita polita



1 cm

Journal of Science and Technology Mahasarakham University

Index in TCI. (Tier 2)



วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณภาพของนักวิชาการทั้งในและต่างประเทศ โดยเผยแพร่บทความวิจัย (research article) บทความปริทัศน์ (review article) ในสาขาวิชาต่างๆ ได้แก่ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ แพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สำนักงานกองบรรณาธิการ
กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
โทรศัพท์ภายใน 1754 โทรศัพท์โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ ไข่มไผ่
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ศิริอมรพรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วัลยา สุทธิชาติ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละอองศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิ พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ประณีต อานเป็ร้อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะลีพรรณ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมย์ดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนวนแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ยืน ภู่วรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อริชฎี กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพ็ชรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิญา วงศ์พิริโยธยา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.ณัฐพล ภูมิพันธุ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.รัชชจินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
Mr.Adrian R. Plant
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

ฉวีวรรณ อรรถเศรษฐ์

ผู้ช่วยเลขานุการ

พัทรวไล รุ่งวิสัย
จิรารัตน์ ภูสีฤทธิ

กำหนดเผยแพร่

ปีละ 6 ฉบับ
ฉบับที่ 1 มกราคม-กุมภาพันธ์
ฉบับที่ 2 มีนาคม-เมษายน
ฉบับที่ 3 พฤษภาคม-มิถุนายน
ฉบับที่ 4 กรกฎาคม-สิงหาคม
ฉบับที่ 5 กันยายน-ตุลาคม
ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน-ธันวาคม

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป และบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทย การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นวารสารที่จัดอยู่ในฐานข้อมูลของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai Journal Citation Index Center: TCI) ซึ่งการดำเนินงานของวารสารได้รับการสนับสนุนอย่างต่อเนื่องจากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ในฉบับนี้เผยแพร่เป็นฉบับที่ 6 ของปี พ.ศ. 2563 (พฤศจิกายน - ธันวาคม 2563) มีบทความที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหลากหลายสาขา โดยทุกบทความได้ผ่านการพิจารณากลั่นกรองจากกองบรรณาธิการฯ และประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในสาขานั้นๆ ทางกองบรรณาธิการฯ ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์สำหรับการปรับปรุงบทความ และขอแสดงความยินดีกับนักวิจัยทุกท่านที่ดำเนินการวิจัยเสร็จสิ้นจนสามารถนำผลการวิจัยมาเผยแพร่ได้สำเร็จ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จะเป็นแหล่งอ้างอิงสำหรับการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศไทยต่อไป

นักวิจัยสามารถสืบค้นและดาวน์โหลดบทความที่ตีพิมพ์ ทั้งฉบับปัจจุบันและย้อนหลังได้ที่ www.journal.msu.ac.th ทั้งนี้หากท่านมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาและปรับปรุงเชิงคุณภาพของวารสาร สามารถติดต่อกับคณะทำงานประจำกองบรรณาธิการฯ ได้ทางอีเมล science.msu@hotmail.com คำแนะนำของท่านจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาระบบการจัดการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.อรวิษณ์ กุมพล
กองบรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิชาการ

Health Science

โคโรนาไวรัส: มหันตภัยชีวภาพ จากซาร์ส และเมอร์ส ถึงโควิด-19 595

Coronaviruses: biological disasters from SARS and MERS to COVID-19

ปารีชาติ พุ่มขจร, พงศ์ศักดิ์ รัตนชัยกุลโสภณ

Parichat Phumkhachorn, Pongsak Rattanachaikunsopon

บทความวิจัย

Agricultural Science

แป้งและผลิตภัณฑ์จากแป้งเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองในจังหวัดอุดรดิตถ์ 605

Flour and products from native durian seed in uttaradit province

จิตติพร เทียรฆนิธิกุล, พิชัย ไจกล้ำ, จิราภรณ์ นิคมัทสน์

Thitiphorn Thankhanithikun, Phichai chaikla, Jiraporn Nikomtat

Biological Science

ชนิดและการแพร่กระจายของหอยน้ำพริกสกุล *Nerita* (Neritidae ; Gastropoda)

ในระบบนิเวศหาดหิน จังหวัดภูเก็ต

613

Species and distribution of gastropod genus *Nerita* (Neritidae ; Gastropoda) in Rocky

Shore ecosystem, Phuket Province

สุวรรณดา ดาวเรือง, ภูริพงษ์ เมฆสุวรรณ

Suwanna Dawruang, Phuripong Meksuwan

Chemistry

องค์ประกอบทางเคมี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดแห้งเห็ดราสีทอง (*Cordyceps militaris*)

ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเห็ด และอาหารเพาะแข็งธัญพืชลูกเดือย

621

Chemical components and antioxidant activity of extracts from *cordyceps militaris* cultured in liquid and Job's-Tears solid media

เยาวภา ทองอร่าม

Yaowapar Tongaram

Engineering

การประยุกต์ใช้เทคนิคการชี้บ่งอันตรายทุกการดำเนินงานของโรงงานอุตสาหกรรม

กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมในเขตจังหวัดนครราชสีมา

633

Application of overall operation hazard identification model of industrial plant:

case study of industrial plant in Nakhon Ratchasima province

จิตพล ภัยแคล้ว, สงวน วงษ์ชวลิตกุล, มารุต ไครตพันธ์

Jadpol Paikhlaew, Sanguan Vongchavalitkul, Marut Khodpun

อัตราการเติมน้ำที่เหมาะสมสำหรับเทอร์โมไซฟอนวงจรปิดที่มีฮีวโปเรเตอร์เป็นหม้อต้ม

645

Optimum water filling ratio for a closed loop thermosyphon with evaporator as a boiler

ชัยยันต์ ไชบุญมา, ธนาพล สุขชนะ

Chaiyun Jaiboonma, Thanaphol Sukchana

สารบัญ

- ท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูนสำหรับลดความชื้นข้าวเปลือก 653
Heat pipe with wicks for paddy dehydration
สถิตพงษ์ เสี่ยงมศักดิ์, สุพัตรา บุญโฮง, วิริยะ แดงทน
Satitpong Sangiamsuk, Supattra Boothaisong, Wiriya Dangton
- Environmental Science**
ความเป็นไปได้ทางเทคนิคสำหรับการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเปลือกทุเรียน 664
Technical feasibility for thermal insulation production from durian peel
ปานใจ สือประเสริฐสิทธิ์, ชิตชเนตร บุญเฉลียว, สุชาติพิทย์ จันทร์ศิริ
Panjai Saueprasearsit, Chitchanate Boonchaleaw, Sutthathip Junsiri
- Geoinformatic Engineering**
การสกัดแนวเส้นภูมิประเทศจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในเขตจังหวัดเชียงใหม่ 672
เชียงราย พะเยา และลำปาง
Lineaments extraction from satellite images in Chiang Mai, Chiang Rai, Phayao, and Lampang provinces
ณัฐ สุขพรสวรรค์, ชนินดา สุวรรณประสิทธิ์, พิษณุ วงศ์พรชัย
Nut Sukphornsawan, Chanida Suwanprasit, Pisanu Wongpornchai
- Mathematics**
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยจระเข้มาก 684
อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์
Mathematical model for forecasting the water content in Huai Jorakhe Mak Reservoir, Mueang district, Buriram province
ธัญญารัตน์ ถุกพันธ์, กัญญาณัฐ แดงยังยืน, วชิรารักษ์ โอสรรัมย์
Thanyarat Tukpan, Kanyanat Dangyangyuen, Wachirarak Orosram
- Physical Science**
การพยากรณ์ค่าสเกลของแผ่นพีซีบีชนิดหลายชั้น โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง 692
The scale predictions of multilayer PCB board by using machine learning
นัทธมน พลายนินทร์, ชนาพันธ์ ชนาเนตร, วิกานดา ผาพันธ์
Nutthamon Plai-in, Chanaphun Chananet, Wikanda Phaphan
- การใช้มาตรฐาน มอก. 2677-2558 เพื่อยกระดับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน: 702
กรณีศึกษา อาคารเก็บสารเคมี คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มจพ.
Using TIS 2677-2558 for safety improvement in basic chemistry laboratory: case study of chemical storage building, faculty of applied science, KMUTNB
วรภรณ์ บุญโต, จิตมณี พวงปิ่น, โกวิท พิชัยมงคล
Waraporn Boonto, Jitmanee Puangpin, Kowit Piyamongkala

โคโรนาไวรัส: มหันตภัยชีวภาพ จากซาร์ส และเมอร์ส ถึงโควิด-19

Coronaviruses: biological disasters from SARS and MERS to COVID-19

ปาริชาติ พุ่มขจร¹, พงศ์ศักดิ์ รัตนชัยกุลโสภณ²

Parichat Phumkhachorn¹, Pongsak Rattanachaikunsopon²

Received: 7 May 2020 ; Revised: 30 June 2020 ; Accepted: 8 July 2020

บทคัดย่อ

โคโรนาไวรัสเป็นไวรัสที่ก่อโรคได้ในคน และสัตว์ โดยมี 7 สายพันธุ์ที่มีรายงานว่าสามารถก่อโรคได้ในคน ซึ่งได้แก่ สายพันธุ์ HKU1, NL63, 229E และ OC43 สายพันธุ์เหล่านี้เป็นสาเหตุของไข้หวัดธรรมดาที่มีอาการไม่รุนแรง ซึ่งสามารถหายได้โดยการรักษาตามอาการ ส่วนอีก 3 สายพันธุ์ คือ SARS-CoV, MERS-CoV และ SARS-CoV-2 เป็นสายพันธุ์ใหม่ที่กลายพันธุ์มาจากโคโรนาไวรัสที่ก่อโรคในสัตว์ ด้วยเหตุที่ร่างกายของมนุษย์ไม่เคยสัมผัส และไม่เคยมีภูมิคุ้มกันต่อไวรัสดังกล่าวมาก่อน จึงทำให้ไวรัสเหล่านี้ก่อโรคที่รุนแรงในคน ซึ่งได้แก่ ซาร์ส เมอร์ส และโควิด-19 นอกจากนี้โคโรนาไวรัสทั้ง 3 สายพันธุ์นี้ยังระบาดไปทั่วโลก คร่าชีวิตคนเป็นจำนวนมาก และสร้างความเสียหายอย่างมหาศาลต่อเศรษฐกิจโลก บทความนี้ได้รวบรวมข้อมูลจากวารสารวิชาการเกี่ยวกับโคโรนาไวรัส โดยเฉพาะ 3 สายพันธุ์ใหม่ที่มีการระบาดไปทั่วโลก เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของเชื้อไวรัสทั้งสามสายพันธุ์นี้ โดยมีได้มุ่งเน้นที่จะเจาะลึกลงไปประเด็นใดประเด็นหนึ่ง ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับบุคคลทั่วไปที่จะอ่าน และทำความเข้าใจ

คำสำคัญ: โคโรนาไวรัส ซาร์ส เมอร์ส โควิด-19

Abstract

Coronaviruses are viruses causing diseases both in humans and animals. There are 7 strains reported to be capable of causing diseases in human including HKU1, NL63, 229E and OC43. These strains are causative agents for common cold having mild symptoms that can be alleviated by supportive care. The other 3 strains, SARS-CoV, MERS-CoV and SARS-CoV-2, are mutated strains derived from animal infected coronaviruses. Since human bodies have not been exposed to and have no immunity to these novel viral strains, they cause serious diseases in human including SARS, MERS and COVID-19. Moreover, these 3 coronaviruses spread worldwide, kill many people and enormously damage the global economy. This paper gathers information from publications about coronaviruses, especially the 3 novel strains spreading worldwide, to demonstrate their relationship. Having no intention to give profound information on any aspect, this paper is readable and comprehensible for the general public.

Keywords: Coronaviruses, SARS, MERS, COVID-19

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ. เมือง จ. อุบลราชธานี 34190

² ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ. เมือง จ. อุบลราชธานี 34190

¹ Associate Professor, Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190 Thailand.
E-mail: scpariph@gmail.com

² Professor, Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190 Thailand.
E-mail: rattanachaikunsopon@yahoo.com

บทนำ

โคโรนาไวรัส (coronaviruses) เป็นกลุ่มของไวรัสที่อยู่ใน family *Coronaviridae* ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 60 ถึง 140 นาโนเมตร ใช้ RNA (positive sense single stranded RNA) เป็นสารพันธุกรรม โดยมีความยาวอยู่ในช่วง 27 ถึง 34 kb โดยปกติแล้ว RNA จะถูกหุ้มด้วยโปรตีนที่เรียกว่า nucleocapsid protein เกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า nucleocapsid โคโรนาไวรัสจัดเป็น enveloped virus ซึ่งก็คือเป็นไวรัสที่มีเปลือกหุ้ม (Figure 1) โดยส่วนประกอบหลักของเปลือกหุ้ม (envelop) เป็นไขมัน ตรงบริเวณเปลือกหุ้มมี glycoprotein ยื่นออกมาโดยรอบ มีลักษณะคล้ายหนาม เรียกว่า spike protein^{1,2} การที่โคโรนาไวรัสมีลักษณะเป็นทรงกลม และมีหนามยื่นออกมาโดยรอบ จึงทำให้เมื่อมองภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน มีลักษณะคล้ายพระอาทิตย์ทรงกลด (Sun halo) ด้วยเหตุนี้ไวรัสชนิดนี้จึงถูกตั้งชื่อว่า Coronavirus เนื่องจากคำว่า "corona" มีความหมายเช่นเดียวกับคำว่า "halo" อย่างไรก็ดีตามมีบางรายงานกล่าวว่าคำว่า "Corona" ใน Coronavirus น่าจะมาจากภาษาละตินซึ่งแปลว่า มงกุฎ หรือ crown เนื่องจากลักษณะของไวรัสเป็นทรงกลม และมีหนามยื่นออกมาคล้ายมงกุฎ

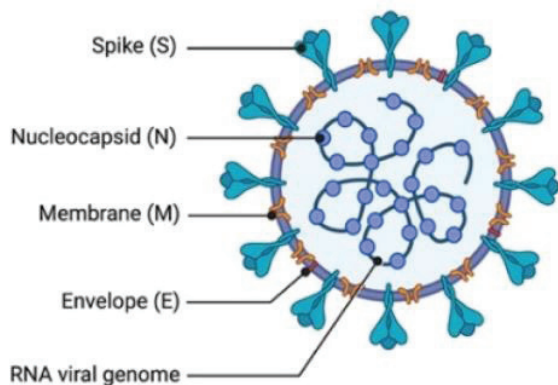


Figure 1 Structure of Coronavirus²

โคโรนาไวรัสสามารถก่อโรคได้ทั้งในคน และในสัตว์ในคน สามารถทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจได้ ซึ่งมีตั้งแต่โรคที่ไม่รุนแรง เช่น ไข้หวัดธรรมดา (common cold) จนถึงโรคที่มีอาการรุนแรง และอาจทำให้เสียชีวิตได้ เช่น SARS (severe acute respiratory syndrome) MERS (middle east respiratory syndrome) และ COVID-19 (Coronavirus disease 2019) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของไวรัส³ ในสัตว์ เช่น ในไก่ โคโรนาไวรัสก่อให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ ในขณะที่ในวัว โคโรนาไวรัสก่อให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหาร

การดำรงชีวิตของโคโรนาไวรัส

โคโรนาไวรัสมีลักษณะการดำรงชีวิต และเพิ่มจำนวนคล้ายกับไวรัสชนิดอื่น กล่าวคือ ไม่สามารถดำรงชีวิตได้ด้วยตัวเอง จำเป็นต้องเข้าไปอาศัยอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอื่น ซึ่งเรียกว่า host cell เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะไวรัสมียีนจำนวนไม่มาก และไม่มียกลไกในการสร้างโปรตีน และ RNA ด้วยตัวเอง การดำรงชีวิตจึงต้องเข้าไปอยู่ใน host cell และอาศัยกลไกและสารต่างๆ ของ host cell ในการดำรงชีวิต โดยไวรัสจะใช้ spike protein ไปยึดเกาะกับ receptor ซึ่งอยู่ที่ผิวของ host cell จากนั้นไวรัสจะถูกนำเข้าสู่ host cell โดยวิธี endocytosis และมีการสร้างไวรัสใหม่ขึ้นเป็นจำนวนมากภายใน host cell จากนั้นไวรัสเหล่านี้จะถูกนำออกจาก host cell โดยวิธี exocytosis และสามารถไปบุกรุก host cell อื่นๆ ที่อยู่ข้างเคียงได้อีก (Figure 2) การกระทำเช่นนี้ของไวรัสจะทำให้มีไวรัสเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ host cell ก็จะถูกบุกรุกเป็นจำนวนมากด้วยเช่นกัน⁴

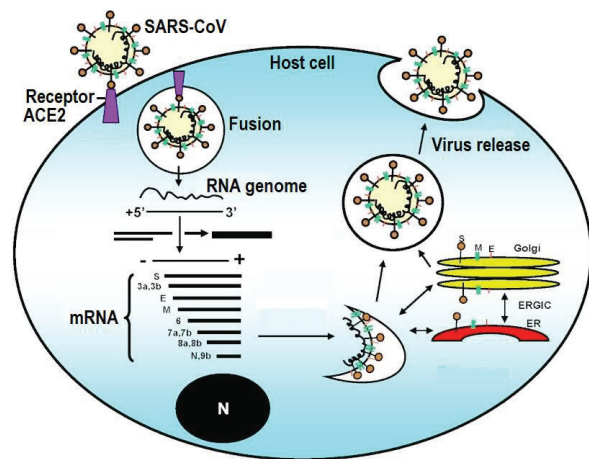


Figure 2 Infection of host cell by Coronavirus⁴

โดยปกติ spike protein แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ectodomain (ส่วนที่ยื่นออกมาภายนอกตัวไวรัส), transmembrane anchor (ส่วนที่ฝังอยู่ใน envelop) และ intracellular tail (ส่วนที่อยู่ภายในตัวไวรัส) (Figure 3)⁵ โดย ectodomain มี 2 ส่วน คือ S1 และ S2 โดย S1 เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการบุกรุก host cell โดยส่วนปลายของ S1 (S1 C-domain) จะเป็นส่วนที่ไปจับกับ receptor ของ host cell ดังนั้นจึงเรียกส่วนนี้ว่า receptor binding domain (RBD)⁶ โคโรนาไวรัสแต่ละสายพันธุ์จะใช้ RBD ไปจับกับ receptor ที่แตกต่างกัน จึงทำให้โคโรนาไวรัสแต่ละสายพันธุ์บุกรุกและก่อโรคในสิ่งมีชีวิตต่างชนิดกัน

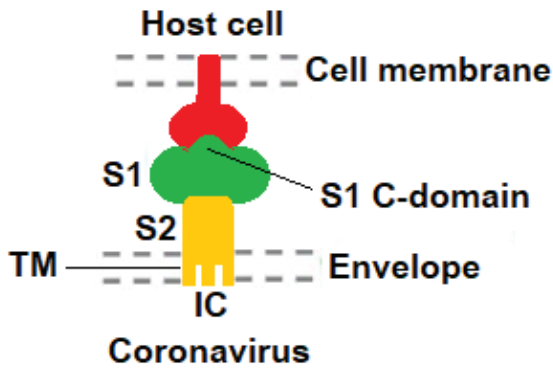


Figure 3 Binding between spike protein of Coronavirus and receptor of host cell (TM = transmembrane anchor, IC = intracellular tail)

โคโรนาไวรัสที่พบในคน

โคโรนาไวรัสที่พบในคน (human coronaviruses) ถูกค้นพบครั้งแรกในช่วงกลางของคริสต์ทศวรรษ 1960 (mid 1960s) โดยมี 4 สายพันธุ์ที่พบได้บ่อย และแพร่กระจายจากคนสู่คน ซึ่งได้แก่ สายพันธุ์ HKU1, NL63, 229E และ OC43 โคโรนาไวรัสเหล่านี้มักก่อให้เกิดโรคไข้หวัดธรรมดาที่มีอาการไม่รุนแรง มีการติดเชื้อเฉพาะในระบบทางเดินหายใจส่วนบน (ตั้งแต่จมูกจนถึงกล่องเสียง) อาการที่มักพบ ได้แก่ มีไข้ คัดจมูก มีน้ำมูก ไอ และเจ็บคอ อย่างไรก็ตามในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา มีการค้นพบโคโรนาไวรัสที่แพร่ข้ามสายพันธุ์จากสัตว์มาสู่คน ซึ่งก่อให้เกิดโรคที่รุนแรง โดยปกติแล้วไวรัสมักก่อให้เกิดโรคในสิ่งมีชีวิตที่จำเพาะ เช่น ไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคในค้างคาว ก็จะทำให้เกิดโรคเฉพาะในค้างคาวเท่านั้น จะไม่สามารถก่อโรคในคนได้ เนื่องจากการบุกรุกเข้าไปในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตต้องอาศัยการจับกันอย่างจำเพาะระหว่าง spike protein ที่อยู่ที่ผิวด้านนอกของไวรัส กับ receptor ที่อยู่ที่ผิวของเซลล์สิ่งมีชีวิต ดังนั้นการที่ไวรัสที่โดยปกติก่อให้เกิดโรคในสัตว์จะข้ามสายพันธุ์มาสู่คนได้ จำเป็นต้องมีการกลายพันธุ์ กลายเป็นไวรัสสายพันธุ์ใหม่ ซึ่งร่างกายและระบบภูมิคุ้มกันของคนไม่เคยสัมผัสมาก่อน จึงทำให้โรคที่เกิดจากไวรัสเหล่านี้มีความรุนแรง และอาจทำให้ถึงขั้นเสียชีวิตได้ โคโรนาไวรัสที่มีรายงานแพร่ข้ามสายพันธุ์จากสัตว์มาสู่คน มี 3 สายพันธุ์ ได้แก่ SARS-CoV, MERS-CoV และ SARS-CoV-2^{8,9}

SARS-CoV

SARS-CoV (Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus) เป็นโคโรนาไวรัสที่พบครั้งแรกในเดือนพฤศจิกายน ค.ศ. 2002 ที่เมือง Guangdong ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน จากนั้นแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ

ของทวีปเอเชีย ยุโรป และอเมริกาเหนือ จนทำให้มีผู้ติดเชื้อประมาณ 8,500 ราย และมีผู้เสียชีวิตประมาณ 900 ราย (อัตราการเสียชีวิตประมาณร้อยละ 10)¹⁰ ระยะฟักตัวของโรคนี้อยู่ในช่วง 2 ถึง 7 วัน ผู้ติดเชื้อมักมีอาการคล้ายผู้ป่วยไข้หวัดใหญ่ (flu-like symptoms) คือมีอาการไข้ ปวดเมื่อยตามตัว ปวดศีรษะ เบื่ออาหาร บางคนอาจมีอาการไอ และมีน้ำมูกไหล หากเป็นไข้หวัดใหญ่อาการมักจะทุเลาภายใน 3 ถึง 5 วัน แต่ในกรณีของ SARS อาการจะรุนแรงขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 คือมีอาการปอดบวมแบบเฉียบพลัน (acute pneumonia) และการหายใจล้มเหลว (respiratory failure) ซึ่งนำไปสู่การเสียชีวิต ไวรัสนี้คาดว่าน่าจะแพร่จากค้างคาว (bat) มาสู่อีเห็น (civet cat) จากนั้นจึงค่อยแพร่มาสู่คน (Figure 4)⁹ ข้อมูลนี้ได้มาจากการศึกษาวิจัยที่พบว่า การที่ SARS-CoV จะบุกรุก host cell ได้ spike protein ของ SARS-CoV ต้องไปจับกับ receptor ซึ่งก็คือ angiotensin converting enzyme 2 (ACE2) ที่อยู่บนผิวของ host cell (Figure 5)⁹ แต่เนื่องจากโครงสร้างของ ACE2 ของค้างคาว กับของคนต่างกันมาก ดังนั้นจึงเป็นไปได้ยากที่ SARS-CoV ที่ก่อโรคในค้างคาวจะกลายพันธุ์เพียงครั้งเดียว แล้วสามารถไปจับกับ ACE2 ของคน และก่อโรคในคนได้ จากการศึกษาสายวิวัฒนาการของ SARS-CoV ที่ก่อโรคในสิ่งมีชีวิตต่างๆ พบว่า SARS-CoV ที่ก่อโรคในคน กับในอีเห็น มีพันธุกรรมที่ใกล้เคียงกันมาก และยังมีบรรพบุรุษเดียวกันกับ SARS-CoV ที่ก่อโรคในค้างคาว ด้วยเหตุนี้จึงเป็นไปได้ว่า SARS-CoV ที่ก่อโรคในค้างคาวน่าจะมีการกลายพันธุ์ 2 ครั้ง โดยการกลายพันธุ์ครั้งแรกทำให้สามารถไปจับกับ ACE2 ของอีเห็นได้ และการกลายพันธุ์ครั้งที่สองทำให้สามารถไปจับกับ ACE2 ของคนได้ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าอีเห็นน่าจะเป็นสัตว์ตัวกลาง (intermediate host) ในการติดเชื้อข้ามสายพันธุ์ของ SARS-CoV จากค้างคาวมาสู่คน

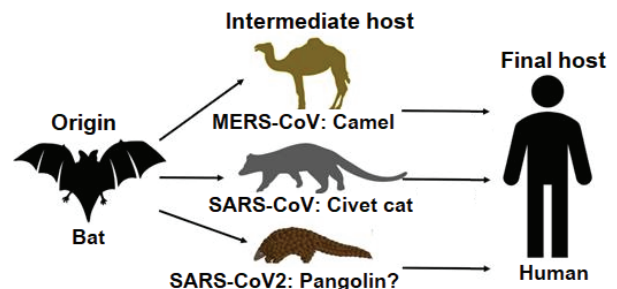


Figure 4 Transmission of SARS-CoV, MERS-CoV and SAR-CoV-2 from animals to human⁹

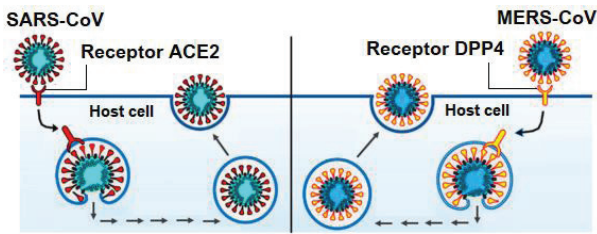


Figure 5 Receptors of host cells specific to SARS-CoV and MERS-CoV⁸

MERS-CoV

MERS-CoV (Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus) เป็นโคโรนาไวรัสที่พบครั้งแรกในเดือนกันยายน ค.ศ. 2012 ที่ประเทศซาอุดีอาระเบีย ซึ่งเป็นประเทศในตะวันออกกลาง (Middle East) ดังนั้นโคโรนาไวรัสชนิดนี้จึงมีชื่อว่า Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus¹¹ นอกจากนี้ไวรัสชนิดนี้จะแพร่ระบาดในประเทศแถบตะวันออกกลาง เช่น อียิปต์ อิหร่าน บาห์เรน จอร์แดน และคูเวต แล้วยังแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของทวีปเอเชีย ยุโรป และอเมริกาเหนือ จนทำให้มีผู้ติดเชื้อประมาณ 2,500 ราย และมีผู้เสียชีวิตประมาณ 850 ราย (อัตราการเสียชีวิตประมาณร้อยละ 34)¹² ระยะฟักตัวของโรคนี้ประมาณ 5 วัน ผู้ติดเชื้อมีอาการคล้ายผู้ป่วยโรค SARS แต่อาจมีอาการไตวายเฉียบพลันร่วมด้วย จากการศึกษาพบว่า MERS-CoV ใช้ S1 C-domain (ซึ่งเป็นส่วนประกอบของ spike protein) ทำหน้าที่เป็น receptor binding domain (ABD) เช่นเดียวกับ SARS-CoV แต่เนื่องจาก S1 C-domain ของ MERS-CoV และ SARS-CoV มีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ทำให้ไปจับกับ receptor ที่ต่างกัน โดย S1 C-domain ของ MERS-CoV จะจับกับ dipeptidyl peptidase 4 (DPP4) (Figure 5)⁸ ด้วยเหตุนี้ MERS-CoV จึงมีเส้นทางการแพร่จากสัตว์สู่คนในลักษณะที่แตกต่างจาก SARS-CoV โดยมีรายงานว่า อูฐ (camel) น่าจะเป็นสัตว์ตัวกลางในการติดเชื้อข้ามสายพันธุ์ของ MERS-CoV จากค้างคาวมาสู่คน (Figure 4)⁹

SARS-CoV-2

SARS-CoV-2 หรือที่ปัจจุบันรู้จักกันดีว่าเป็นไวรัสที่ก่อให้เกิดโรค COVID-19 ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดใดๆ เกี่ยวกับไวรัสชนิดนี้ควรทราบที่มาของชื่อต่างๆ ที่ใช้เรียกไวรัสชนิดนี้ รวมทั้งชื่อที่เป็นทางการของไวรัสชนิดนี้ เนื่องจากชื่อที่ใช้เรียก SARS-CoV-2 มีหลากหลายชื่อ และอาจจะสร้างความสับสนได้มาก

1. การเรียกชื่อ SARS-CoV-2

ในช่วงแรกที่พบไวรัสชนิดนี้ มีการเรียกชื่อว่า Wuhan Coronavirus (ตามชื่อเมืองที่พบไวรัสครั้งแรก) หรือ China Coronavirus (ตามชื่อประเทศที่พบไวรัสครั้งแรก) ต่อมาเมื่อมีการรายงานการแพร่ระบาดของเชื้อนี้ไปยังองค์การอนามัยโลก จึงมีการตั้งชื่อไวรัสชนิดนี้ว่า 2019-novel Coronavirus (2019-nCoV) ซึ่งองค์การอนามัยโลกก็ใช้ชื่อนี้ในการแถลงข่าวตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา จนกระทั่งวันที่ 11 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2020 International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV) ซึ่งเป็นคณะกรรมการสากลที่ทำหน้าที่จัดอนุกรมวิธานของไวรัส ได้ตั้งชื่อไวรัสสายพันธุ์ใหม่นี้ว่า SARS-CoV-2 ตามลักษณะทางพันธุกรรมที่คล้ายกับ SARS-CoV ที่พบในจีน เมื่อ ค.ศ. 2002¹³ ดังนั้นชื่อนี้จึงเป็นชื่อที่ถูกต้องตามหลักสากลในการเรียกไวรัสสายพันธุ์ใหม่ที่พบที่ Wuhan อย่างไรก็ตามในวันเดียวกัน องค์การอนามัยโลกได้ให้ชื่อโรคที่เกิดจากการติดเชื้อ SARS-CoV-2 ว่า COVID-19 ซึ่งย่อมาจาก **C**oronavirus **d**isease **2019** และใช้คำว่า COVID-19 virus ในการเรียกชื่อไวรัส แทนที่จะใช้คำว่า SARS-CoV-2 ที่บัญญัติโดย ICTV และเนื่องจากองค์การอนามัยโลกเป็นหน่วยงานหลักที่ออกแถลงการณ์ และเสนอข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับโรค COVID-19 อย่างต่อเนื่อง ทำให้คนทั่วไปคุ้นกับชื่อ COVID-19 virus มากกว่า SARS-CoV-2 ดังนั้นคำว่า “COVID-19 virus” และ “SARS-CoV-2” จึงสามารถใช้แทนกันได้ในการเรียกชื่อไวรัสที่ก่อให้เกิดโรค COVID-19

2. เหตุการณ์สำคัญของการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19

เชื้อไวรัส COVID-19 (COVID-19 virus) เป็นโคโรนาไวรัสที่พบครั้งแรกในเดือนธันวาคม ค.ศ. 2019 ที่เมือง Wuhan ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยพบในผู้ป่วยที่ถูกนำส่งโรงพยาบาลด้วยอาการปอดอักเสบอย่างรุนแรงโดยไม่ทราบสาเหตุ โดยผู้ป่วยทุกรายมีประวัติเกี่ยวข้องกับตลาดขายส่งอาหารทะเล (Huanan wholesale seafood market) ซึ่งมีการซื้อขายแลกเปลี่ยนสัตว์มีชีวิตด้วย เหตุการณ์ต่างๆ ที่สำคัญที่เกิดขึ้นตั้งแต่พบผู้ป่วยที่ติดเชื้อไวรัส COVID-19 จนกระทั่งระบาดไปทั่วโลกมีดังนี้^{9,14}

วันที่ 31 ธันวาคม ค.ศ. 2019 จีนได้แจ้งการระบาดของเชื้อโคโรนาไวรัสสายพันธุ์ใหม่ไปยังองค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO)

วันที่ 7 มกราคม ค.ศ. 2020 ได้มีรายงานว่าโคโรนาไวรัสที่กำลังระบาดอยู่เป็นสายพันธุ์ใหม่ ซึ่งมีพันธุกรรมที่คล้ายกับโคโรนาไวรัสที่พบในค้างคาวถึง ร้อยละ 95 และคล้ายกับ SARS-CoV ที่พบในจีน เมื่อ ค.ศ. 2002 ถึงร้อยละ 70 จาก

รายงานดังกล่าวทำให้คาดว่าโคโรนาไวรัสสายพันธุ์ใหม่นี้จะเป็น SARS-CoV ที่กลายพันธุ์มาจาก SARS-CoV ที่ก่อโรคในค้างคาว อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่สามารถสรุปได้ว่าสัตว์ใดเป็นตัวกลาง (intermediate host) ในการก่อโรคข้ามสายพันธุ์จากค้างคาวมาสู่คน ทั้งนี้เนื่องจากมีที่มวิจัย 2 ทีมที่รายงานผลที่แตกต่างกัน โดยทีมหนึ่งพบว่าพันธุกรรมของโคโรนาไวรัสที่ก่อโรคในคนคล้ายกับพันธุกรรมของโคโรนาไวรัสที่ก่อโรคในงู (snake)¹⁵ ในขณะที่ทีมวิจัยอีกทีมหนึ่งกลับพบว่าพันธุกรรมของโคโรนาไวรัสที่ก่อโรคในคนคล้ายกับพันธุกรรมของโคโรนาไวรัสที่ก่อโรคในตัวนิ่ม (pangolin)⁹

วันที่ 11 มกราคม ค.ศ. 2020 มีการรายงานการเสียชีวิตของผู้ติดเชื้อไวรัส COVID-19 เป็นรายแรกของโลก

ช่วงก่อนเทศกาลตรุษจีน (กลางเดือนมกราคม ค.ศ. 2020) มีการเดินทางกลับภูมิลำเนาของคนจีนจำนวนมาก อีกทั้งมีการเดินทางของนักท่องเที่ยวจีนจำนวนมากออกจากประเทศจีน เพื่อไปท่องเที่ยวยังประเทศอื่น รวมทั้งประเทศไทย ในช่วงแรกๆ การพบเชื้อไวรัส COVID-19 พบเฉพาะในนักท่องเที่ยวจีนที่เดินทางไปยังประเทศต่างๆ แต่ต่อมาพบว่า มีผู้ติดเชื้อที่ไม่เคยมีประวัติเดินทางไปประเทศจีนเลย แต่เคยเกี่ยวข้องกับนักท่องเที่ยวจีน จึงทำให้เชื่อได้ว่าเชื้อไวรัส COVID-19 สามารถติดต่อจากคนสู่คนได้ สาเหตุที่เชื้อไวรัส COVID-19 แพร่กระจายไปทั่วโลกอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในช่วงแรกๆ หลายประเทศ โดยเฉพาะประเทศในแถบยุโรป และสหรัฐอเมริกา ยังไม่ตระหนักถึงการแพร่ระบาดของเชื้อนี้ จึงไม่มีแผนการป้องกัน และรับมือกับการแพร่ระบาดของเชื้อ จึงทำให้เมื่อเกิดการระบาดขึ้นจึงลุกลามอย่างรวดเร็ว

วันที่ 11 มีนาคม ค.ศ. 2020 องค์การอนามัยโลก ออกแถลงการณ์ว่า COVID-19 เป็นโรคที่ระบาดไปทั่วโลก (pandemic)

องค์การอนามัยโลกคาดว่าจำนวนของผู้ติดเชื้อไวรัส COVID-19 สะสมทั่วโลกน่าจะเป็นหลักหลายล้านคน และจำนวนของผู้เสียชีวิตจากไวรัสดังกล่าวสะสมทั่วโลกน่าจะเป็นหลักหลายแสนราย ซึ่งถือว่าเป็นจำนวนที่มากกว่ากรณีของการระบาดของ SAR-CoV และ MERS-CoV

สำหรับสถานการณ์การระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19 ในประเทศไทย ทางกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ได้รายงานสถานการณ์รายวันทุกวันตั้งแต่วันที่ 10 มกราคม ค.ศ. 2020 ผ่านทาง website <https://ddc.moph.go.th/viralpneumonia/situation.php> โดยมีสถานการณ์ที่สำคัญ ดังนี้

วันที่ 12 มกราคม ค.ศ. 2020 กระทรวงสาธารณสุข รายงานการพบผู้ป่วยติดเชื้อไวรัส COVID-19 รายแรกของประเทศไทย โดยผู้ป่วยเป็นหญิงชาวจีน อายุ 61 ปี ซึ่งเดินทาง

จาก Wuhan มายังสนามบินสุวรรณภูมิ ในวันที่ 8 มกราคม ค.ศ. 2020 โดยมีอาการไข้ จึงถูกนำตัวส่งโรงพยาบาลทันที และสัปดาห์ต่อมาผลการตรวจเชื้อโดยวิธี real time reverse transcription PCR (real time RT-PCR) ยืนยันว่าผู้ป่วยติดเชื้อไวรัส COVID-19

วันที่ 1 มีนาคม ค.ศ. 2020 กระทรวงสาธารณสุข รายงานการพบผู้เสียชีวิตจากการติดเชื้อไวรัส COVID-19 รายแรกของประเทศไทย โดยผู้เสียชีวิตเป็นชายไทย อายุ 35 ปี และมีประวัติเคยเป็นไข้เลือดออกในช่วงปลายเดือนมกราคม ปีเดียวกัน

วันที่ 22 มีนาคม ค.ศ. 2020 พบผู้ป่วยเพิ่มขึ้นต่อวันสูงเกิน 100 รายเป็นครั้งแรก ซึ่งนำมาสู่มาตรการควบคุมโรคที่เข้มงวดขึ้น โดยวันที่ 25 มีนาคม ค.ศ. 2020 มีการจัดตั้งศูนย์บริหารสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) หรือ ศบค. เพื่อเป็นศูนย์กลางในการกำหนดนโยบาย และให้ข่าวเกี่ยวกับสถานการณ์โรค COVID-19 และวันที่ 26 มีนาคม ค.ศ. 2020 เริ่มมีการบังคับใช้พระราชกำหนดการบริหารราชการในสถานการณ์ฉุกเฉินทั่วประเทศ รวมทั้งมีมาตรการคุมเข้มเพื่อควบคุมการระบาดของโรค เช่น การจำกัดเวลาการออกนอกเคหะสถาน การขอความร่วมมือให้ประชาชนเพิ่มระยะห่างทางสังคม (social distancing) และสวมหน้ากากอนามัย (หรือหน้ากากผ้า) การจัดให้มีสถานที่กักตัวผู้ที่อยู่ในกลุ่มเสี่ยง การณรงค์ให้ทำงานที่บ้าน (work from home) และอื่นๆ เพื่อให้การระบาดของโรค COVID-19 ในประเทศไทยมีลักษณะไม่รุนแรง ค่อยเป็นค่อยไป คือ มีผู้ติดเชื้อเพิ่มขึ้นในแต่ละวันไม่มาก และอยู่ในวิสัยที่โรงพยาบาล และบุคลากรทางการแพทย์สามารถรับมือได้ มาตรการการควบคุมการระบาดของโรคในลักษณะนี้ เรียกว่าการควบคุมแบบหน่วงโรค (mitigation) เมื่อผู้ติดเชื้อมีจำนวนเพิ่มขึ้นในแต่ละวันไม่มาก อัตราการตายจะน้อย และผู้ที่หายป่วยจะกลายเป็นผู้ที่มีภูมิคุ้มกันต่อโรค ตามทฤษฎีทางระบาดวิทยา หากสามารถควบคุมการติดเชื้อให้อยู่ในระดับที่สามารถรับมือได้แบบนี้ไประยะหนึ่ง (ซึ่งจะนานเท่าใดขึ้นอยู่กับชนิดของไวรัส) จะทำให้ประชากรส่วนหนึ่ง (ในกรณีของโรค COVID-19 คาดว่าน่าจะอยู่ในช่วงร้อยละ 29 ถึง 74) มีภูมิคุ้มกันต่อโรค ซึ่งจะทำให้การระบาดของโรคลดลง เนื่องจากเมื่อมีการแพร่ระบาดของเชื้อเกิดขึ้น คนส่วนใหญ่ (ซึ่งมีภูมิคุ้มกันอยู่แล้ว) จะไม่เป็นโรค และไม่แพร่เชื้อไปยังคนที่ที่ยังไม่มีภูมิคุ้มกัน ดังนั้นโอกาสที่คนที่ไม่มีภูมิคุ้มกันจะติดเชื้อก็น้อยลง ปรากฏการณ์เช่นนี้ เรียกว่า herd immunity หรือภูมิคุ้มกันในกลุ่มประชากร ความสำเร็จของการเกิด herd immunity ขึ้นอยู่กับค่า R_0 (basic reproductive number) ซึ่งก็คือ ค่าเฉลี่ยที่ผู้ป่วย 1 คนจะแพร่เชื้อให้แก่ผู้อื่นได้กี่คนในประชากรที่ไม่มีภูมิคุ้มกัน เช่น ถ้าผู้ป่วย 1 คนแพร่เชื้อให้แก่

ผู้อื่นได้ 2 คน ค่า R_0 จะเท่ากับ 2 หากสามารถทำให้ค่า R_0 มีค่าต่ำ หรือเข้าใกล้ 1 มากที่สุด จำนวนประชากรที่มีภูมิคุ้มกันทานที่ต้องการเพื่อให้เกิด herd immunity ก็จะไม่ค่อย (เช่น เพียงร้อยละ 29) มาตรการการควบคุมโรคระบาดโดยการทำให้เกิด herd immunity เคยใช้ได้ผลมาแล้วกับการระบาดของไข้หวัดใหญ่ที่เกิดจากเชื้อ influenza A virus subtype H1N1 ซึ่งระบาดในค.ศ. 2009¹⁶ อย่างไรก็ตามมาตรการการควบคุมการระบาดของโรคในลักษณะนี้จะประสบความสำเร็จกับโรค COVID-19 หรือไม่ยังคงเป็นสิ่งที่ต้องรอการพิสูจน์ต่อไป

3. กลไกการก่อโรคของเชื้อไวรัส COVID-19

กลไกการก่อโรคของเชื้อไวรัส COVID-19 คล้ายกับกลไกการก่อโรคของ SARS-CoV กล่าวคือเชื้อไวรัส COVID-19 จะบุกรุก host cell โดยการใช้ spike protein ไปจับกับ ACE2 ซึ่งเป็น receptor ชนิดเดียวกับที่ SARS-CoV ใช้ในการบุกรุก host cell แต่จากการวิจัยพบว่า spike protein ของเชื้อไวรัส COVID-19 จับกับ ACE2 ได้ดีกว่า spike protein ของ SARS-CoV ซึ่งแสดงให้เห็นว่า spike protein ของเชื้อไวรัส COVID-19 และ SARS-CoV น่าจะมีโครงสร้างที่ต่างกัน จากรายงานการวิจัยพบว่าเซลล์ของคนที่มี ACE2 และสามารถถูกบุกรุกได้โดยเชื้อไวรัส COVID-19 นอกจากจะเป็นเซลล์เยื่อบุทางเดินหายใจแล้ว ยังพบได้ที่สมอง และหัวใจ เมื่อเซลล์เยื่อบุทางเดินหายใจถูกบุกรุกโดยเชื้อไวรัส COVID-19 จะทำหน้าที่เสมือนโรงงานผลิตไวรัส และปล่อยไวรัสออกสู่ทางเดินหายใจเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นสาเหตุของการมีไวรัสออกมาพร้อมกับละอองฝอยเมื่อมีการไอ หรือจาม ไวรัสที่เพิ่มจำนวนขึ้นในร่างกายจะไปกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายให้ตอบสนองต่อไวรัส เช่น กระตุ้น Th17 (T cell ชนิดหนึ่ง) ให้หลั่งสารต่างๆ ที่ช่วยเร่งให้เกิดการอักเสบ กระตุ้น B cell ให้กลายเป็น plasma cell เพื่อสร้าง antibody ไปต่อต้านไวรัส และกระตุ้น macrophage ให้เก็บกินไวรัส การอักเสบที่เกิดขึ้นนอกจากจะมีหน้าที่กำจัดไวรัสแล้ว ยังทำให้เซลล์ที่ถูกไวรัสบุกรุก (ซึ่งก็คือเซลล์เยื่อบุทางเดินหายใจ) ถูกทำลาย หากเซลล์เยื่อบุที่อยู่บริเวณถุงลม (alveoli) ถูกทำลายก็จะทำให้ถุงลมทะลุเชื่อมต่อกัน นอกจากนี้การที่ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายต่อสู้กับไวรัส ทำให้มีการหลั่งสาร และเมือกต่างๆ ออกมา ทำให้ภายในปอดเต็มไปด้วยของเหลว ซึ่งส่งผลต่อระบบการหายใจของผู้ติดเชื้อ และอาจทำให้ผู้ติดเชื้อขาดออกซิเจน (Figure 6)^{12,17}

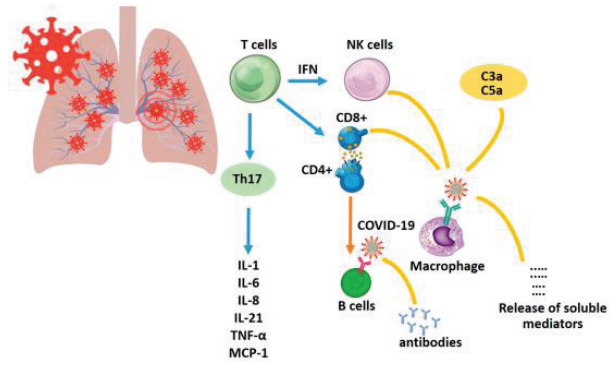


Figure 6 Immune system protecting human from SARS-CoV-2 infection¹⁷

4. การแพร่กระจายของเชื้อ ระยะฟักตัว และอาการของโรค

การแพร่กระจายของเชื้อไวรัส COVID-19 มักเกิดจากการติดเชื้อที่ออกมาพร้อมกับละอองฝอย (droplet) ขณะที่ผู้ติดเชื้อพูด ไอ หรือจาม โดยแบ่งการติดเชื้อออกเป็น 4 แบบหลักๆ คือ airborne transmission, droplet transmission, direct contact และ indirect contact (Figure 7)¹⁸

Airborne transmission เป็นการแพร่กระจายของเชื้อโดยผู้รับเชื้อจะรับเอาเชื้อที่ลอยอยู่ในอากาศเข้าสู่ร่างกาย โดยอาจเข้าทางจมูก หรือปากก็ได้ ในกรณีนี้ละอองฝอยจะมีขนาดเล็ก (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 ไมครอน) ซึ่งเรียกว่า droplet nuclei โดยละอองฝอยนี้สามารถลอยไปในอากาศได้ไกลกว่า 1 เมตร ดังนั้นเพื่อป้องกันการติดเชื้อโดยผ่านทางวิธี airborne transmission ควรเว้นระยะห่างระหว่างกันประมาณ 1 ถึง 2 เมตร นอกจากนี้ยังมีรายงานพบว่าเชื้อไวรัส COVID-19 เมื่อออกจากร่างกายผู้ติดเชื้อจะยังคงมีชีวิตอยู่ในอากาศได้ถึง 3 ชั่วโมง¹⁸

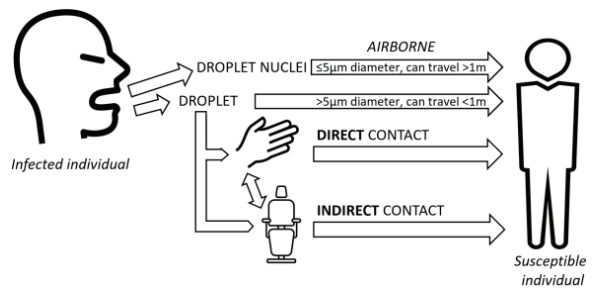


Figure 7 Transmission of SARS-CoV-2¹⁸

Droplet transmission เป็นการแพร่กระจายของเชื้อที่คล้ายกับ airborne transmission เพียงแต่กรณีนี้เกิดจากละอองฝอยที่มีขนาดใหญ่ (มากกว่า 5 ไมครอน) ซึ่งเรียกว่า droplets โดยละอองฝอยนี้สามารถลอยไปในอากาศได้ไม่เกิน 1 เมตร แต่มักจะตกลงบนพื้นผิวต่างๆ เช่น ราวบันได และกระจก เป็นต้น

Direct contact เป็นการแพร่กระจายของเชื้อโดยผู้รับเชื้อไปสัมผัสโดยตรงกับผู้ติดเชื้อ เช่น ผู้ติดเชื้อใช้มือปิดปาก และจามขณะจาม ทำให้มือมีละอองฝอยที่มีเชื้ออยู่ หากผู้ติดเชื้อใช้มือดังกล่าวไปสัมผัสผู้อื่น โดยเฉพาะบริเวณจมูก ปาก และตา ก็จะทำให้ผู้ถูกสัมผัสมีโอกาสติดเชื้อได้

Indirect contact เป็นการแพร่กระจายของเชื้อโดยผู้รับเชื้อไปสัมผัสกับสิ่งของที่มีเชื้ออยู่ โดยส่วนใหญ่แล้วมักเป็นสิ่งของที่เกี่ยวข้องกับผู้ติดเชื้อ เช่น เติียงนอน และโต๊ะทำงาน ของผู้ติดเชื้อ หากผู้รับเชื้อใช้มือที่ไปสัมผัสกับสิ่งของดังกล่าวมายังตา และจมูก หรือนำเข้าปาก ก็อาจทำให้ติดเชื้อได้ จากรายงานวิจัยพบว่าเชื้อไวรัส COVID-19 สามารถมีชีวิตอยู่บนแผ่น stainless steel และแผ่น plastic ที่อุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียสได้นานถึง 3 และ 2 วันตามลำดับ¹⁸

นอกจากการแพร่กระจายของเชื้อไวรัส COVID-19 โดยผ่านทางละอองฝอย ซึ่งเป็นวิธีที่พบได้บ่อยแล้ว ยังมีรายงานพบว่าเชื้อไวรัส COVID-19 ยังสามารถแพร่กระจายทาง fecal-oral route เนื่องจากมีรายงานว่าเชื้อสามารถออกมากับอุจจาระได้ ดังนั้นการสัมผัสกับอุจจาระโดยตรง หรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับอุจจาระ เช่น โถส้วม และสายชำระสามารถนำเชื้อไปปนเปื้อนในอาหาร และน้ำดื่ม หรือนำเชื้อเข้าสู่ร่างกายโดยตรงโดยการใช้มือที่มีเชื้อปนเปื้อนหยิบอาหารเข้าปาก¹⁹

เชื้อที่เข้าสู่ร่างกายจะมีระยะฟักตัวประมาณ 2 ถึง 14 วัน และอาการของโรค จะเหมือนอาการของโรค SARS เช่น มีไข้ ปวดเมื่อยตามตัว ปวดศีรษะ ไอ คัดจมูก น้ำมูกไหล หายใจขัด ในรายที่มีอาการรุนแรงจะมีอาการปอดบวมแบบเฉียบพลัน (acute pneumonia) และการล้มเหลวของระบบทางเดินหายใจแบบเฉียบพลัน (Acute Respiratory Distress Syndrome) ซึ่งนำไปสู่การเสียชีวิต¹³

กลุ่มผู้ติดเชื้อไวรัส COVID-19 สามารถแบ่งตามอาการได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

กลุ่มผู้ติดเชื้อแต่ไม่แสดงอาการ กลุ่มนี้เป็นกลุ่มใหญ่ และมีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อมากที่สุด ดังนั้นหากทราบว่าผู้ใดมีประวัติ หรือความเสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัส COVID-19 จำเป็นต้องถูกกักบริเวณอย่างน้อย 14 วันเพื่อให้พ้นระยะฟักตัวของโรค มิเช่นนั้นอาจจะนำเชื้อไปแพร่ให้กับผู้อื่นได้

กลุ่มผู้ติดเชื้อที่เริ่มมีการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจส่วนบน (ตั้งแต่จมูกถึงกล่องเสียง) ผู้ติดเชื้อในกลุ่มนี้จะมีอาการไอ ปวดหัว เปลือกตาอักเสบ และมีไข้

กลุ่มผู้ติดเชื้อที่ตรวจพบเชื้อไวรัส COVID-19 ในร่างกาย ผู้ติดเชื้อในกลุ่มนี้จะมีอาการคล้ายไข้หวัดใหญ่ ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการรักษาโดยเร็ว จำเป็นต้องหยุดงาน และต้องเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลโดยเร็วที่สุด

กลุ่มผู้ติดเชื้อที่มีความเสี่ยงต่อการเสียชีวิต กลุ่มนี้จะเป็นกลุ่มที่พบได้น้อยที่สุด หากดูจากสถิติของผู้ติดเชื้อใน Wuhan จะคิดเป็นประมาณร้อยละ 6 ของผู้ติดเชื้อทั้งหมด ผู้ติดเชื้อในกลุ่มนี้จะมีไข้สูง และมักมีอาการปอดอักเสบ (pneumonia) ร่วมด้วย โดยส่วนใหญ่ผู้ที่เสียชีวิตจากโรค COVID-19 มักเป็นผู้สูงอายุที่มีอาการของโรคอื่นร่วมด้วย เช่น ความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคถุงลมโป่งพอง และโรคหัวใจ เนื่องจากคนกลุ่มนี้เมื่อได้รับเชื้อไวรัส COVID-19 เข้าสู่ร่างกายอาจจะมีการที่รุนแรงกว่าคนกลุ่มอื่น

5. การวินิจฉัยโรค

การวินิจฉัยโรคติดเชื้อ ต้องใช้หลายวิธีร่วมกันเพื่อความแม่นยำ เนื่องจากการวินิจฉัยจากอาการเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ เนื่องจากผู้ติดเชื้อบางรายยังไม่แสดงอาการหรือถึงแม้ว่าจะแสดงอาการแล้ว ก็ยากที่จะชี้ชัดได้ว่าอาการดังกล่าวเกิดจากเชื้อไวรัส COVID-19 ดังนั้นจึงต้องมีการซักประวัติว่าเคยสัมผัส หรือเกี่ยวข้องกับผู้ติดเชื้อหรือไม่ ในปัจจุบันนิยมการตรวจหาเชื้อไวรัส COVID-19 จากสารคัดหลั่งที่ได้จากคอ (throat swab) และจมูก (nasal swab) โดยวิธี real time RT-PCR ซึ่งเป็นวิธีที่รวดเร็ว และค่อนข้างแม่นยำ²⁰ primers ที่ใช้ในวิธีการนี้หลายชนิดได้รับการรับรองโดยองค์การอนามัยโลก และมีจำหน่ายเชิงพาณิชย์แล้ว นอกจากนี้การถ่ายภาพ computed tomography scan (CT scan) ของปอดก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการวินิจฉัยโรคติดเชื้อไวรัส COVID-19 โดยภาพ CT scan ของปอดของผู้ติดเชื้อไวรัส COVID-19 จะมีลักษณะเฉพาะ คือ มีฝ้าสีขาวจางๆ (ground glass opacity) กระจายทั่วปอด หรือมีส่วนที่ทึบแสงเห็นเป็นสีขาวในส่วนใดส่วนหนึ่งของปอด (consolidation)²¹ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่มีของเหลวอยู่ภายในปอดจนทำให้อากาศไม่สามารถเข้าสู่ปอดได้ จากการวิจัยของ Ai และคณะ พบว่าการวินิจฉัยโรค COVID-19 โดยวิธี CT scan จะทำให้ตรวจพบผู้ป่วยได้ก่อนที่จะตรวจพบเชื้อในสารคัดหลั่งโดยวิธี real time RT-PCR ซึ่งสำคัญมากต่อการคัดกรองผู้ป่วยเพื่อไม่ให้ไปแพร่เชื้อต่อ²² โดย Ai และคณะ นำผู้ป่วยโรค COVID-19 จำนวน 1014 รายมาตรวจโดยวิธี CT scan และ real time RT-PCR พบว่าวิธี CT scan สามารถ

วินิจฉัยว่าผู้ป่วยเป็นโรค COVID-19 ได้ถึง 888 ราย (คิดเป็นร้อยละ 88) ในขณะที่วิธี real time RT-PCR สามารถวินิจฉัยว่าผู้ป่วยเป็นโรค COVID-19 ได้ถึง 601 ราย (คิดเป็นร้อยละ 59) ในปัจจุบันมีความพยายามนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยพัฒนาการตรวจวินิจฉัยโรคติดเชื้อ โดย CT scan โดยมีการรวบรวมภาพ CT scan ของปอดของผู้ป่วยโรค COVID-19 จำนวนหลายร้อยภาพ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูล เมื่อมีผู้มารับการตรวจโรคด้วยวิธี CT scan ของปอดก็จะนำภาพที่ถ่ายได้ไปเปรียบเทียบกับภาพในฐานข้อมูล หากการพัฒนาดังกล่าวสำเร็จ จะทำให้การวินิจฉัยมีความแม่นยำมากขึ้น

6. การรักษา

ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการรักษาที่ได้ผล ในกลุ่มผู้ติดเชื้อที่มีอาการไม่รุนแรง มักจะรักษาตามอาการ (supportive care) เช่น การใช้ยาลดไข้ ยาแก้ไอ ยาแก้เจ็บคอ ในการรักษาอาการ ส่วนผู้ติดเชื้อที่เริ่มมีอาการรุนแรงอาจจำเป็นต้องใช้ยาต้านไวรัส (antiviral drug) แต่เนื่องจากยังไม่มียาต้านเชื้อไวรัส COVID-19 ดังนั้นในปัจจุบันจึงต้องใช้ยาต้านไวรัสชนิดอื่น โดยมักใช้หลายชนิดร่วมกัน เช่น มีรายงานพบว่าการใช้ ribavirin ซึ่งเป็นยาต้านไวรัสตับอักเสบบีชนิด C (hepatitis C virus) ร่วมกับ lopinavir และ ritonavir ซึ่งเป็นยาต้านไวรัสเอดส์ (HIV virus) ใช้ได้ผลดีทั้งในการต้าน SARS-CoV, MERS-CoV และเชื้อไวรัส COVID-19²³ ส่วน favipiravir ซึ่งเป็นยาต้านไวรัสไข้หวัดใหญ่ (influenza virus) ก็เป็นยาต้านไวรัสอีกชนิดหนึ่งที่ทดลองใช้ได้ผลกับผู้ป่วยติดเชื้อไวรัส COVID-19 ในจีน นอกจากนี้แล้วยังมียาอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ได้ผลกับผู้ป่วยติดเชื้อไวรัส COVID-19 ในจีน คือ hydroxychloroquine ทั้งๆ ที่ยานี้เป็นยาต้านเชื้อมาลาเรีย (malaria) ซึ่งเป็นโปรโตซัว (protozoa) ในรายของผู้ป่วยที่มีการอักเสบของปอดอย่างรุนแรง ผู้ป่วยอาจมีอาการออกซิเจนในเลือดต่ำ (hypoxemia) ภาวะเช่นนี้อาจทำให้เซลล์ในร่างกายขาดออกซิเจน และตายได้ โดยเฉพาะ เซลล์สมอง ในกรณีนี้จำเป็นต้องให้ออกซิเจนกับผู้ป่วยทางหน้ากาก (face mask) หรือทางจมูกผ่านท่อ nasal prongs เนื่องจากโรคนี้ยังไม่มีวิธีการรักษาที่ได้ผล ดังนั้นการป้องกันการติดเชื้อจึงเป็นสิ่งที่ควรปฏิบัติมากที่สุด เพื่อไม่ให้เกิดการติดเชื้อ

ในปัจจุบันนี้ยังไม่มีวัคซีนป้องกันเชื้อไวรัส COVID-19 ที่ได้รับการรับรองอย่างเป็นทางการ แต่อยู่ในขั้นตอนการพัฒนาในห้องปฏิบัติการ จากรายงานการวิจัยพบว่ามีหลายแนวทางในการพัฒนาวัคซีนป้องกันเชื้อไวรัส COVID-19 เช่น ใช้ส่วนประกอบบางส่วนของตัวเชื้อไวรัส COVID-19 เช่น spike protein มาพัฒนาเป็นวัคซีน ซึ่งเมื่อให้กับสิ่งมีชีวิต เช่น หนู และคนแล้ว จะกระตุ้นภูมิคุ้มกันต่อเชื้อไวรัส COVID-19 ได้

หรือใช้ไวรัสที่ยังมีชีวิตอยู่แต่ไปทำให้ฤทธิ์อ่อนลงจนไม่สามารถก่อโรคที่รุนแรงได้ (live attenuated virus) มาพัฒนาเป็นวัคซีน แต่จากการทดลองในหนูพบว่าวัคซีนแบบแรกกระตุ้นภูมิคุ้มกันได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังมีวัคซีนอีกหลากหลายรูปแบบที่กำลังอยู่ในขั้นตอนการพัฒนา เช่น การใช้ยีน (DNA) หรือ mRNA ของ spike protein มาพัฒนาเป็นวัคซีนแทนการใช้ตัวโปรตีน ซึ่งเรียกว่า DNA based vaccine และ RNA based vaccine ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการพัฒนาวัคซีนเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลา ซึ่งคาดว่าจะการพัฒนาวัคซีนป้องกันเชื้อไวรัส COVID-19 น่าจะใช้เวลาไม่น้อยกว่า 2 ปี^{11,12}

7. การป้องกันการติดเชื้อไวรัส COVID-19

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่ามาตรการการควบคุมการระบาดของโรค COVID-19 ในประเทศไทยเป็นการควบคุมแบบห่วงโรค (mitigation) คือ พยายามรักษาระดับการติดเชื้อให้ต่ำ (อัตราการเพิ่มขึ้นของผู้ติดเชื้อในแต่ละวันไม่มาก) เพื่อให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถรับมือได้ หากทำเช่นนี้ได้ระยะหนึ่งจะมี herd immunity เกิดขึ้น ซึ่งจะทำการระบาดของโรคลดลง การใช้มาตรการดังกล่าวในการควบคุมการระบาดของโรค การป้องกันตัวเองไม่ให้ติดเชื้อ (ในกรณีของผู้ที่ยังไม่ติดเชื้อ) และการป้องกันไม่ให้เป็นผู้แพร่เชื้อ (ในกรณีของผู้ติดเชื้อ) เป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพื่อให้การติดเชื้ออยู่ในระดับต่ำอย่างต่อเนื่อง

สำหรับผู้ที่ยังไม่ติดเชื้อ การป้องกันตัวเองไม่ให้ติดเชื้อ ทำได้โดย

- หลีกเลี่ยงการเดินทางไปในพื้นที่เสี่ยงต่อการระบาด
- หลีกเลี่ยงการสัมผัสเยื่อบุบริเวณใบหน้า เช่น ตา จมูก ปาก ด้วยมือที่ไม่ได้ล้าง
- หลีกเลี่ยงการสัมผัสพื้นผิวต่างๆ โดยไม่จำเป็น เช่น ราวบันได กระจกหน้าต่าง โต๊ะ
- หลีกเลี่ยงการอยู่ในที่ผู้คนหนาแน่น และควรอยู่ห่างกันอย่างน้อย 1 ถึง 2 เมตร (social distancing)
- ล้างมือด้วยสบู่ และน้ำสะอาดบ่อยๆ โดยในแต่ละครั้งควรใช้เวลาประมาณ 15 ถึง 20 วินาที
- ใส่หน้ากากอนามัยเพื่อป้องกันละอองฝอยเข้าสู่ร่างกายทางปาก และจมูก

สำหรับผู้ที่ติดเชื้อ นอกจากจะต้องปฏิบัติทุกอย่างตามที่ผู้ที่ยังไม่ติดเชื้อปฏิบัติแล้ว ยังต้องทำสิ่งต่อไปนี้เพิ่มเติมเพื่อป้องกันไม่ให้เป็นผู้แพร่เชื้อ

- กักตัวเอง (self quarantine) อย่างน้อย 14 วัน เพื่อไม่ให้ไปแพร่เชื้อให้ผู้อื่น

- หากต้องพบปะบุคคลอื่น ต้องบอกความจริง เพื่อให้ผู้อื่นทราบว่าตนเองติดเชื้ออยู่
- หมั่นทำความสะอาดสิ่งที่ใช้ หรือสัมผัส เป็นประจำ เช่น เสื้อผ้า ที่นอน โต๊ะ เก้าอี้ ด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อ หรือผงซักฟอก

สรุป

ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา มีโรคระบาดที่เกิดจากเชื้อโคโรนาไวรัส และแพร่กระจายไปทั่วโลก (pandemic) 2 โรค คือ SARS (พบเมื่อค.ศ. 2002) และ MERS (พบเมื่อค.ศ. 2012) ซึ่งคร่าชีวิตมนุษย์รวมกันเป็นหลักหมื่น เศรษฐกิจโลกเสียหาย และตกต่ำไปหลายปี โรคระบาดทั้งสองโรคนี้มีความคล้ายกันในหลายๆ ประเด็น เช่น ประวัติการติดเชื้อข้ามสายพันธุ์จากสัตว์มายังคน กลไกการก่อโรค และอาการของโรค ดังนั้นการป้องกัน และการรักษาโรคทั้งสองจึงคล้ายคลึงกัน แต่เมื่อเวลาผ่านไปดูเหมือนทุกภาคส่วนของโลกจะให้ความสำคัญกับโรคทั้งสองน้อยลง จนกระทั่งในปี 2019 มีการระบาดใหญ่อีกครั้งของโรคที่เกิดจากเชื้อไวรัสตัวเดียวกับที่ทำให้เกิด SARS และ MERS ซึ่งก็คือโรคโควิด-19 (COVID-19) และเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคนี้นั้นเหมือนกับเชื้อที่ก่อให้เกิดโรค SARS มาก จนมีการตั้งชื่อเชื้อนี้ว่า SARS-CoV-2 หรือเชื้อไวรัสก่อโรค SARS version ที่ 2 การระบาดครั้งนี้รุนแรงกว่าการระบาด 2 ครั้งที่ผ่านมา มีผู้ติดเชื้อ และเสียชีวิตมากกว่าการระบาดครั้งก่อนหลายเท่า อีกทั้งไม่มียา และวัคซีนที่พร้อมสำหรับการต่อสู้กับโรคนี้นี้ หากโลกได้เรียนรู้ประสบการณ์จากอดีต และตระหนักว่าโรคระบาดก็มีความสำคัญ และสามารถคร่าชีวิตผู้คนได้เป็นจำนวนมาก ก็อาจลดความสูญเสีย และความรุนแรงที่เกิดจากโรคระบาดได้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Tok TT, Tatar G. Structures and functions of coronavirus proteins: molecular modeling of viral nucleoprotein, *Int J Virol Infect Dis* 2017 ; 2(1) : 1-7.
2. Alanagreh L, Alzoughool F, Atoum M. The human coronavirus disease COVID-19: Its origin, characteristics, and insights into potential drugs and its mechanisms, *Pathogens* 2020 ; 9(5) : 331.
3. Singhal T. A review of coronavirus disease-2019 (COVID-19), *Indian J Pediatr* 2020 ; 87: 281-286.
4. Jiang S, Lu L, Liu Q, Du L. Receptor-binding domains of spike proteins of emerging or re-emerging viruses as targets for development of antiviral vaccines, *Emerg Microbes Infect* 2012 ; 1(8) : e13.
5. Li F. Structure, function, and evolution of coronavirus spike proteins, *Annu Rev Virol* 2016 ; 3(1) : 237-261.
6. Shang J, Wan Y, Liu C, Yount B, Gully K, Yang Y, Auerbach A, Peng G, Baric R, Li F. Structure of mouse coronavirus spike protein complexed with receptor reveals mechanism for viral entry, *PLoS Pathog* 2020 ; 16(3) : e1008392.
7. Cui J, Li F, Shi Z. Origin and evolution of pathogenic coronaviruses, *Nat Rev Microbiol* 2019 ; 17(3) : 181-192.
8. Song Z, Xu Y, Bao L, Zhang L, Yu P, Qu Y, Zhu H, Zhao W, Han Y, Qin C. From SARS to MERS, thrusting coronaviruses into the spotlight, *Viruses* 2019 ; 11(1) : 59.
9. Yi Y, Lagniton PNP, Ye S, Li E, Xu RH. COVID-19: what has been learned and to be learned about the novel coronavirus disease, *Int J Biol Sci* 2020: 16(10) : 1753-1766.
10. Cherry JD, Krogstad P. SARS: the first pandemic of the 21st century, *Pediatr Res* 2004 ; 56(1) : 1-5.
11. Mubarak A, Alturaiki W, Hemida MG. Middle east respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) : infection, immunological response, and vaccine development, *J Immunol Res* 2019 ; 2019: 1-11.
12. Prompetchara E, Ketloy C, Palaga T. Immune responses in COVID-19 and potential vaccines: lessons learned from SARS and MERS epidemic, *Asian Pac J Allergy Immunol* 2020 ; 38(1) : 1-9.
13. Shereen A, Khan S, Kazmi A, Bashir N, Siddique R. COVID-19 infection: origin, transmission, and characterization, *J Adv Res* 2020 ; 24: 91-98.
14. Guo Y, Cao Q, Hong Z, Tan YY, Chen SD, Jin HJ, Tan KS, Wang DY, Yan Y. The origin, transmission and clinical therapies on coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak-an update on the status, *Mil Med Res* 2019 ; 7(1) : 11.
15. Ji W, Wang W, Zhao X, Zai J, Li X. Homologous recombination within the spike glycoprotein of the newly identified coronavirus may boost cross-species transmission from snake to human, *J Med Virol* 2020 ; 92(4) : 433-440.

16. Fineberg H. Pandemic preparedness and response-lessons from the H1N1 influenza of 2009, *New Eng J Med* 2014 ; 370(14) : 1335-1342.
17. Messina G, Polito R, Monda V, Cipolloni L, Di Nunno N, Di Mizio G, Murabito P, Carotenuto M, Messina A, Pisanelli D, Valenzano A, Cibelli G, Scarinci A, Monda M, Sessa F. Functional role of dietary intervention to improve the outcome of COVID-19: A hypothesis of work. *Int J Mol Sci* 2020 ; 21(9) : 3104.
18. Giudice RL. The Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-2 (SARS CoV-2) in Dentistry. Management of Biological Risk in Dental Practice, *Int J Environ Res Public Health* 2020 ; 17(9) : 3067.
19. Yuen KS, Ye ZW, Fung SY, Chan CP, Jin DY. SARS-CoV-2 and COVID-19: The most important research questions, *Cell Biosci* 2020 ; 10: 40.
20. Liu R, Han H, Liu F, Lv Z, Wu K, Liu Y, Feng Y, Zhu C. Positive rate of RT-PCR detection of SARS-CoV-2 infection in 4880 cases from one hospital in Wuhan, China, from Jan to Feb 2020, *Clin Chim Acta* 2020 ; 505: 172-175.
21. Chung M, Bernheim A, Mei X, Zhang N, Huang M, Zeng X, Cui J, Xu W, Yang Y, Fayad ZA, Jacobi A, Li K, Li S, Shan H. CT imaging features of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV), *Radiology* 2020 ; 295(1) : 202-207.
22. Radiological Society of North America. CT provides best diagnosis for COVID-19. [online] 2020, February 26. Available from: <http://www.sciencedaily.com/releases/2020/02/200226151951.htm>. Accessed 30 April, 2020.
23. Chan KW, Wong VT, Tang SCW. COVID-19: an update on the epidemiological, clinical, preventive and therapeutic evidence and guidelines of integrative Chinese-Western medicine for the management of 2019 novel coronavirus disease, *Am J Clin Med* 2020 ; 13: 1-16.

แป้งและผลิตภัณฑ์จากแป้งเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองในจังหวัดอุตรดิตถ์

Flour and products from native durian seed in Uttaradit province

ฐิติพร เทียรฆนิธิกุล¹, พิชัย ไชกล้า², จิราภรณ์ นิคมัทศน์³

Thitiphorn Thankhanithikun¹, Phichai chaikla², Jiraporn Nikomtat³

Received: 28 February 2020 ; Revised: 5 May 2020 ; Accepted: 5 June 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสนองพระราชดำรินโยบายการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เพื่อผลิตแป้งและเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแป้งเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมือง (*Durio zibethinus* Murray) นำเมล็ดทุเรียนที่แยกเปลือกเมล็ดออกมาผลิตแป้งจากเมล็ดทุเรียน ตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติและคุณค่าทางโภชนาการของแป้งและศึกษาตำรับผลิตภัณฑ์ขนมครกแครงทุเรียนและทองพับทุเรียน นำแป้งมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า เม็ดแป้งมีรูปร่างเหลี่ยม ผิวขรุขระ พบทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ 3-10 ไมครอน การจัดเรียงตัวเป็นกลุ่มคุณค่าทางโภชนาการต่อ 100 กรัม พบว่า แป้งเมล็ดทุเรียนให้พลังงาน 364.94 กิโลแคลอรี ไขมัน 0.37 กรัม เส้นใย 16.8 กรัม ธาตุเหล็ก 4.51 มิลลิกรัม วิตามินซี 9.08 มิลลิกรัม วิตามินเอ 22.20 ไมโครกรัม วิตามินอี 0.47 มิลลิกรัม ปริมาณอะไมโลส 20 เปอร์เซ็นต์และไม่พบกลูเตน นอกจากนี้ปริมาณแป้งทุเรียนและเนื้อทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองที่เหมาะสมในการผสมในขนมครกแครงและทองพับเท่ากับ 2.5 เปอร์เซ็นต์ โดยแสดงค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนนความชอบมากเท่ากับ 8.00 ± 0.82 และ 7.93 ± 0.81 ตามลำดับ งานวิจัยนี้จึงแสดงให้เห็นประโยชน์ของทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองนำไปสู่การตระหนักถึงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชท้องถิ่นต่อไป

คำสำคัญ: เมล็ดทุเรียน แป้ง ผลิตภัณฑ์ ทุเรียน

Abstract

The aims of this research were to respond to the Plant Genetic Conservation Project under the Royal initiative of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn, and to make flour and products from native seed durian (*Durio zibethinus* Murray). Seeds of native durian without the seed coat were ground to produce flour. After that, the flour characteristics and nutrition were determined before use with the recipes of Krong-Krang and Thong-Pub. It was found under SEM that durian starch had a polygonal shape, was rough with a size around 3-10 μm . Nutritional values per 100 g of durian seed flour were 364.94 kilocalories, and it contained 0.37 g of fat, 16.8 g of fiber, 4.51 mg of iron, 9.08 mg of vitamin C, and 22.20 μg of vitamin A. The amylose content was 20% and gluten was not found. Finally, the suitable durian flour and durian pulp was 2.5%. The sensory scores, indicted the range of consumer satisfaction, for Krong-Krang and Thong-Pub were 8.00 ± 0.82 and 7.93 ± 0.81 , respectively. Therefore, this study displayed the advantages of native durian seeds in Lap-Lae district, Uttaradit province, and stimulated awareness of local people in plant genetic conservation.

Keywords: Durian Seed, Flour, Product, *Durio zibethinus*

¹ อาจารย์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000

¹ Lecturer, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000, Thailand.

² Assist. Prof., Faculty of Agriculture, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000, Thailand.

³ Assist. Prof., Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000, Thailand.

Corresponding author: Jiraporn Nikomtat, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Injimee Road, T. Tha-it, A. Mueang, Uttaradit 53000, Thailand, e-mail: nikomtat_jk@hotmail.com

บทนำ

จังหวัดอุดรธานีตั้งอยู่บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำน่าน เขตภูเขา และที่สูงมีพื้นที่ประมาณครึ่งหนึ่งของจังหวัดอยู่ในบริเวณทาง ด้านเหนือ และทางตะวันออกของจังหวัด พืชเศรษฐกิจของ จังหวัดที่สำคัญ คือ ลางสาดมีการปลูกมากที่สุดในประเทศ นอกจากนี้มีทุเรียน เงาะ มังคุด สับปะรด ลำไย ส่วนพืชไร่ที่เป็น พืชเศรษฐกิจ คือ ข้าวอ้อย ข้าวโพด กระเทียม ถั่วต่างๆ และยาสูบ เป็นต้น¹ การผลิตทุเรียนในจังหวัดอุดรธานีมีการ ผลิตเป็นจำนวนมากในอำเภอลับแล โดยเป็นการผลิตในระบบ วนเกษตร (agro-forestry) มีการทำสวนผลไม้แบบผสมผสาน ร่วมกับพื้นที่ป่าที่ผูกพันกับวิถีชีวิตของชาวอำเภอลับแลมา ตั้งแต่บรรพบุรุษ พื้นที่ปลูกทุเรียนเป็นพื้นที่บนภูเขาและที่ราบ ระหว่างหุบเขาบริเวณลูกคลื่น เป็นบริเวณที่อยู่ต่อเนื่องจาก ที่ราบลุ่มแม่น้ำทางเหนือและทางตะวันออกของจังหวัด² โดยทุเรียนเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญอันดับต้นของประเทศ มาตลอด ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกประมาณ 600,000 ไร่ ในแต่ละปีจะมีผลผลิตประมาณ 500,000-550,000 ตัน มูลค่าประมาณ 10,000-12,000 ล้านบาท สามารถนำเงินเข้า ประเทศจากมูลค่าการส่งออกปีละประมาณ 5,600 ล้านบาท ส่วนประเทศอื่นมีปริมาณและมูลค่าแตกต่างกันไป³

แบ่งจากพืชแหล่งต่างๆ ทั้งในเมล็ด ผล ราก ลำต้น และใบของพืชนั้นจะมีสมบัติโดยรวมใกล้เคียงกัน แต่จะแตกต่างกันในการใช้งานที่แตกต่างกัน เมื่อทดสอบแป้งโดยใช้ กล้องจุลทรรศน์ แบ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทางกายภาพ แตกต่างกันได้แก่ ขนาดและรูปร่างของเมล็ดแป้ง (starch granule) นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพอื่นๆ ของแป้งแต่ละ ชนิดจะแตกต่างกันไป ลักษณะทางกายภาพของแป้งเป็นเม็ด เล็กๆ สีขาว ในรูปแป้งแห้งจะไม่สามารถแยกความแตกต่าง ระหว่างแป้งชนิดต่างๆ ได้ เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะ เห็นได้ว่าแป้งประกอบด้วยเม็ดแป้งเล็กๆ ซึ่งขนาดและรูปร่าง จะต่างไปตามพันธุ์พืช เม็ดแป้งทั่วไปมี ขนาดตั้งแต่ 2 - 100 ไมครอน มีรูปร่างต่างกัน เช่น กลม รูปไข่ และอื่นๆ เม็ดแป้ง ข้าวเจ้ามีขนาดเล็กที่สุดคือขนาด 3 - 8 ไมครอน มีลักษณะ เป็นรูปหลายเหลี่ยม มักพบอยู่รวมกัน เป็นกลุ่ม เม็ดแป้งมัน ฝรั่งมีขนาดใหญ่และเล็กคละกันมีขนาด 15 - 100 ไมครอน ขนาดใหญ่จะมีลักษณะรูปไข่ ขนาดเล็กมีลักษณะเหมือนหอย นางรม (oyster) เม็ดแป้งข้าวโพดมีขนาด 10 - 25 ไมครอน มี ทั้งลักษณะกลมและหลายเหลี่ยม เม็ดแป้งมันสำปะหลังขนาด เฉลี่ยเท่ากับเม็ดแป้งข้าวโพด โดยอยู่ในช่วง 5 - 35 ไมครอน แต่จะมีลักษณะเป็นรูปทรงกลมหรือรูปไข่ที่มีด้านหนึ่งตัดตรง ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของแป้งนี้ เม็ดแป้งมันเทศ มีลักษณะ คล้ายเม็ดแป้งข้าวโพด แต่มีขนาดใหญ่กว่าโดยเฉลี่ย ประมาณ 1.5 - 2 เท่า เม็ดแป้งสาลี แป้งไรย์ และแป้งบาร์เลย์ มีลักษณะ

กลมที่คล้ายกัน โดยมีทั้งขนาดใหญ่และเล็กคละกัน ขนาดเล็ก 2 - 6 ไมครอน และขนาดใหญ่ 20 - 35 ไมครอน⁴ ได้มีการ ศึกษาการนำเมล็ดทุเรียนมาผลิตเป็นแป้งเมล็ดทุเรียนและ ศึกษาสมบัติในด้านลักษณะรูปร่างและขนาดของเม็ดแป้งจาก ภาพถ่ายขยายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน ค่าสี และองค์ประกอบทางเคมี รวมทั้งการนำแป้งจากเมล็ดทุเรียน ไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ เค้กเนยและคุกกี้⁴ ต่อมาได้มีการ ศึกษาการผลิตแป้งจากเมล็ดทุเรียนและการใช้ประโยชน์ของ แป้งในผลิตภัณฑ์ประเภทเบเกอรี่ (แฮมเบอร์เกอร์ ขนมปัง ขาไก่ และคุกกี้)⁵

ดังนั้นจึงมีความสนใจในการนำเมล็ดทุเรียนพันธุ์ พื้นที่เมือง (*Durio zibethinus* Murray) เหล่านี้มาผลิตเป็น แป้งเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นที่เมืองซึ่งสามารถนำมาพัฒนา เป็นผลิตภัณฑ์ให้เกิดมูลค่า โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อสนอง พระราชดำริในโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจาก พระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เพื่อผลิตแป้งจากเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นที่เมืองในอำเภอลับแล จังหวัดอุดรธานี และเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมของพายและ ครอบแครงกรอบจากแป้งเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นที่เมือง งานวิจัยนี้ จึงเป็นกิจกรรมการใช้ทรัพยากรในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์

วิธีการศึกษา

1. การผลิตแป้งจากเมล็ดทุเรียน

การผลิตแป้งจากเมล็ดทุเรียน ใช้วิธีการผลิตแป้งจาก เมล็ดทุเรียนดัดแปลงจากสิรินธร ดันเกษม (2542)⁴ นำเมล็ด ทุเรียนพันธุ์พื้นที่เมือง (Figure 1A) แยกเมล็ดออกจากส่วนที่รับ ประทานได้ ล้างทำความสะอาดเมล็ดนำมาเมล็ดทุเรียนที่ปอก เปลือกเมล็ดและแยกไฮโปคอติล (hypocotyl) ออก (Figure 1B) มาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ หนาประมาณ 2-5 มิลลิเมตร แช่น้ำ เมล็ดทุเรียนปริมาณ 1,500 กรัม ในสารละลายสารส้มอิ่มตัว (Potassium alum ; $KAl(SO_4)_2$) ปริมาตร 3,000 มิลลิลิตร (1: 2 w/v) เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา ล้างด้วยน้ำ สะอาด 2 ครั้ง นำเนื้อเมล็ดทุเรียนแช่ในสารละลายโซเดียม ไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ความเข้มข้น 1% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา ล้างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง เมื่อล้าง ครบแล้วนำเนื้อเมล็ดทุเรียนใส่ลงใน Waring blender เติม สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) ความเข้มข้น 0.075% ปั่นแล้วล้างแป้งด้วยน้ำสะอาด บีบน้ำออกโดยใช้ผ้า มัสลิน นำเนื้อเมล็ดทุเรียนอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนเนื้อทุเรียนแห้ง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น บด ละเอียดเนื้อเมล็ดทุเรียนด้วยเครื่องบดสมุนไพร นำแป้งบด ละเอียดมาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 120 เมช เก็บแป้งในโถดูด ความชื้น (Figure 2)

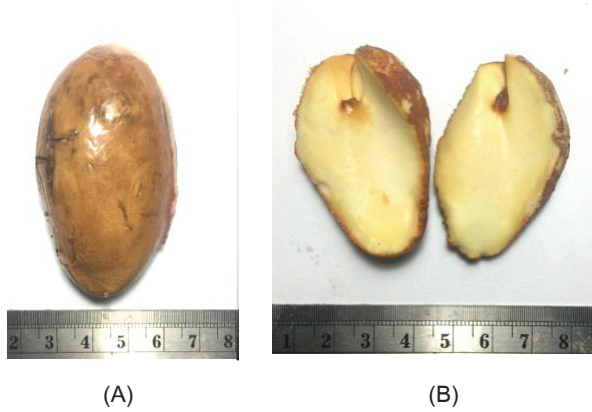


Figure 1 Native durian seed sample ; seed (A), seed without seed coat and hypocotyl (B)



Figure 2 Method of native durian seed flour production

2. ตรวจสอบวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้ง

นำแป้งเมล็ทุเรียนที่ผลิตได้มาตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ดังนี้

2.1 ตรวจสอบขนาดและลักษณะรูปร่างของเม็ดแป้ง เมล็ดทุเรียน แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด LV-Scanning Electron Microscope: JSM 5910 LV ของ ศูนย์วิจัยและบริการจุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กตรอน มหาวิทยาลัย เชียงใหม่

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร สารอาหารและคุณสมบัติทางกายภาพ

2.2.1 วิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร ได้แก่ พลังงาน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้า และความชื้นวิเคราะห์ ปริมาณน้ำตาล วิตามิน ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินอี วิตามินซี วิตามินบีหนึ่ง และวิตามินบีสองและแร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม โพแทสเซียม เหล็ก และสังกะสี วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ Water activity (วิธี AOAC: Novasina), Viscosity of gelatin (วิธี GMIA), pH (วิธี AOAC: pH meter), Texture quality (วิธี AOAC) และ Particle size โดยโดยสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

2.2.2 วิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส (วิธีกรมวิชาการเกษตร) โดยบริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

2.2.3 การทดสอบหาปริมาณกลูเตนในแป้ง

นำก้อนโดที่ได้จากการหาการดูดซึมน้ำแล้วมาแช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที ล้างก้อนโด ด้วยน้ำเพื่อแยกสตาร์ชออกจากกลูเตน พยายามล้างอย่าให้ชิ้นส่วนของกลูเตนหลุดไปกับน้ำ อาจใช้ตะแกรงหรือผ้าขาวบางช่วยในการล้าง แช่กลูเตนที่ได้ในน้ำใสอีกประมาณ 10 นาที นำขึ้นมาทำให้สะเด็ดน้ำ บันทึกลักษณะกลูเตนที่ได้จากความรู้สึก จากนั้นคำนวณหาปริมาณกลูเตนเปียกดังสมการ

% กลูเตนเปียก (wet gluten) = (น้ำหนักกลูเตนเปียก/ น้ำหนักแป้ง) × 100

3. ศึกษาหาตำรับขนมครองแครงและตำรับขนมทองพับผสมแป้งเมล็ทุเรียนพันธุ์พื้นเมือง

ศึกษาหาตำรับมาตรฐานขนมครองแครง⁶⁻⁸ตำรับขนมทองพับ⁹⁻¹⁰ เมื่อได้ตำรับมาตรฐานแล้วทดสอบหาปริมาณแป้งทุเรียนและเนื้อทุเรียนพื้นเมืองอย่างละ 3 ตำรับ โดยแต่ละตำรับใช้ปริมาณแป้งทุเรียนและเนื้อทุเรียนพื้นเมือง ได้แก่ 2.5%, 5.0% และ 7.0% ตามลำดับ วางแผนการทดลองแบบสุ่มผสมสมบูรณ์ (CRD) ประเมินคุณลักษณะทางประสาท

สัมผัสโดยบุคคลทั่วไป จำนวน 30 คน เพื่อหาตัวรับที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุดด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ 9 Point Hedonic Scaling Test นำข้อมูลที่ได้จากการประเมินทางประสาทสัมผัสมาทำการหาค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation ; SD) โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) จากนั้นทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

4. การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมครกแครงกรอบทุเรียนและขนมทองพับทุเรียน

4.1 วิเคราะห์ด้านคุณค่าทางโภชนาการ โดยการคำนวณโดยเปรียบเทียบกับบัญญัติไตรยางศ์ของวัตถุุดิบที่ใช้ในการทำขนมครกแครงกรอบทุเรียนและขนมทองพับทุเรียน จากตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข¹¹

4.2 การศึกษาอายุการเก็บรักษา เลือกตัวรับขนมครกแครงกรอบทุเรียนและขนมทองพับทุเรียนที่ได้รับการยอมรับสูงสุดนำมาใส่ภาชนะพลาสติก PP สีกลม ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ข้อมูลทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมครกแครงกรอบทุเรียนและขนมทองพับทุเรียน ทุกๆ 2 วัน ประเมินลักษณะภายนอก สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

ผลการศึกษา

1. การผลิตแป้งจากเมล็ดทุเรียน

ทำการผลิตแป้งเมล็ดทุเรียนจากปริมาณเมล็ดทุเรียนสดครั้งละ 1,500 กรัม จำนวน 4 ครั้ง ได้แป้งทุเรียนที่ร่อนผ่านตะแกรงปริมาณรวม 557.70 กรัม คิดเป็นร้อยละผลผลิตจากปริมาณเมล็ดทุเรียนสด เท่ากับ 18.59 (Table 1) ลักษณะแป้งทุเรียนที่ผลิตได้แสดงดังFigure 2 แป้งทุเรียนที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนมี สีน้ำตาลจากเปลือกเมล็ด ลักษณะร่วน มีกลิ่นเล็กน้อย ส่วนแป้งทุเรียนที่ผ่านการร่อนมีสีน้ำตาลอ่อนเป็นผงละเอียด มีกลิ่นเล็กน้อย (Figure 3) จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งในขั้นตอนต่อไป

Table 1 Flour production from native durian seed

Fresh durian seed (g)	Mean of durian seed flour before sieving (g±SD)	Percentage of durian seed flour before sieving	Percentage of durian seed flour after sieving
1,500.00	374.82±69.18	24.99	18.59

* Mean±SD with four replication (n=4).

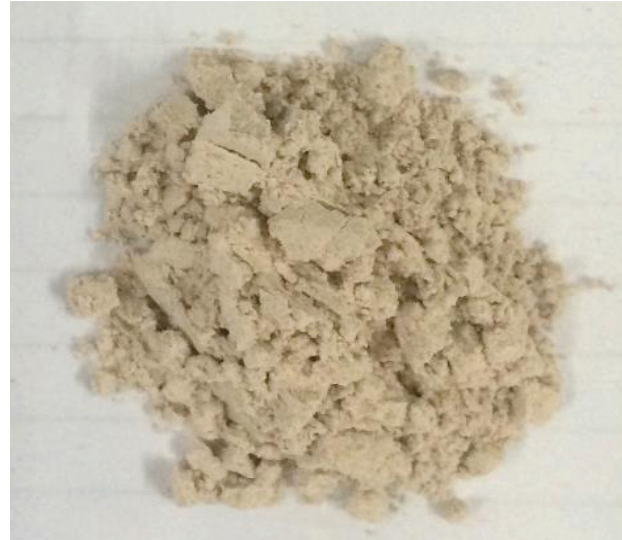


Figure 3 Native durian seed flour after sieving

2. ตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งจากเมล็ดทุเรียน

นำเม็ดแป้งชนิดต่างๆ ได้แก่ เม็ดแป้งจากเมล็ดทุเรียน เม็ดแป้งข้าวสาลี เม็ดแป้ง ข้าวเจ้า เม็ดแป้งข้าวโพด เม็ดแป้งมันสำปะหลัง และเม็ดแป้งข้าวโพดมาศึกษาขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดและถ่ายภาพขยายของแป้งชนิดต่างๆ พบว่า รูปร่างและขนาดของเม็ด แป้งมีขนาดแตกต่างกัน แสดงดังFigure 4 จากภาพถ่ายขยายของเม็ดแป้งเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมือง พบว่าเม็ดแป้งมีรูปร่างเหลี่ยม หลายแบบ ผิวขรุขระ มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ขนาดประมาณ 3-10 ไมครอน มีการจัดเรียงตัวอยู่เป็นกลุ่ม ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับแป้งข้าวเจ้า ภาพถ่ายขยายของเม็ดแป้งสาลี พบว่าเม็ดแป้งมีรูปร่าง หลาย แบบ ผิวขรุขระ มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดประมาณ 20-50 ไมครอนใหญ่กว่าแป้งเมล็ดทุเรียน มีการจัดเรียงตัวอยู่เป็นกลุ่ม ภาพถ่ายขยายของเม็ดแป้งข้าวเจ้า พบว่าเม็ดแป้งมีรูปร่าง เหลี่ยม ผิวเรียบ มีทั้งขนาดเล็ก มีขนาดใกล้เคียงกัน ขนาดประมาณ 3-5 ไมครอน มีการจัดเรียงตัวอยู่เป็นกลุ่มก้อน ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับ แป้งเมล็ดทุเรียน ภาพถ่ายขยายของเม็ดแป้งมันสำปะหลัง พบว่าเม็ดแป้งมี รูปร่างกลม ผิวเรียบ มี ขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดประมาณ 10-20 ไมครอนใหญ่กว่าแป้งเมล็ดทุเรียน มีการจัดเรียงตัวส่วนใหญ่กระจายกัน ภาพถ่ายขยายของเม็ดแป้งข้าวโพด พบว่าเม็ดแป้งมีรูปร่าง เหลี่ยมผิวเรียบ ซึ่งมีขนาดประมาณ 10-20 ไมครอน มีขนาดใกล้เคียงกับเม็ดแป้งมันสำปะหลังแต่มีขนาดใหญ่กว่าแป้งเมล็ดทุเรียน มีการจัดเรียงตัวส่วนใหญ่กระจายกัน

การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร (Proximate analysis) ได้แก่ พลังงาน (Energy) คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) โปรตีน (Protein) ไขมัน (Fat) เถ้า (Ash) และความชื้น

(Moisture) พบว่า แป้งเมล็ดทุเรียนที่ร่อนแล้ว ให้พลังงาน 364.94 กิโลแคลอรี พบโปรตีน เท่ากับ 7.11 กรัม ไขมัน เท่ากับ 0.37 กรัม คาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 83.28 กรัม เส้นใย เท่ากับ 16.8 กรัม เถ้า เท่ากับ 2.12 กรัม น้ำตาล เท่ากับ 0.21 กรัม

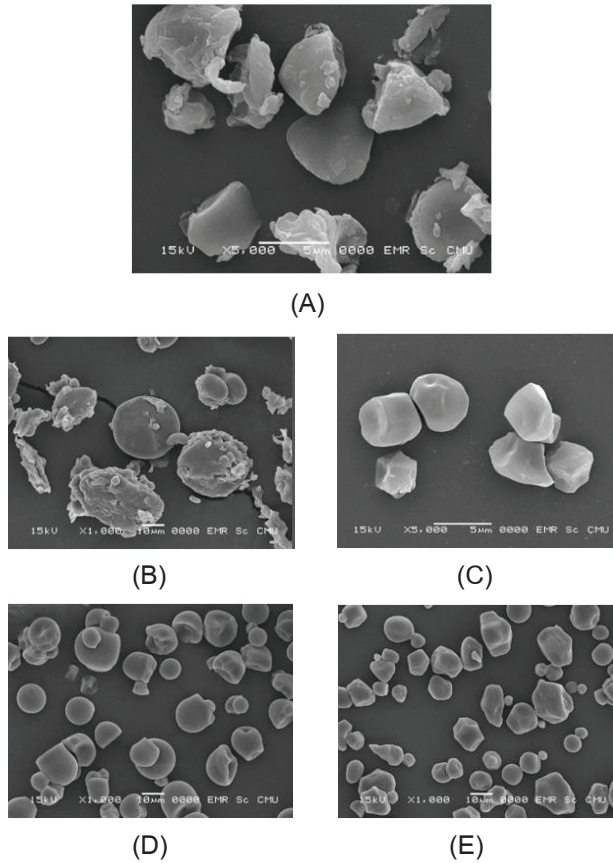


Figure 4 Starch shape by Scanning electron microscope (SEM) ; Native durian seed (SEM 5,000X) (A), Wheat (SEM 1,000X) (B), Rice (SEM 5,000X) (C), Cassave (SEM 1,000X) (D), and Corn (SEM 1,000X) (E).

ชนิดและปริมาณวิตามินที่พบ ได้แก่ วิตามินเอ (Vitamin A, RAE) วิตามินซี (Vitamin C, total ascorbic acid) วิตามินบีหก (Vitamin B-6) โฟเลท และ วิตามินอี (Vitamin E (alpha-tocopherol)) พบว่า แป้งเมล็ดทุเรียนที่ร่อนแล้วพบ วิตามินซีถึง 9.08 มิลลิกรัม วิตามินบีหก เท่ากับ 0.06 มิลลิกรัม โฟเลท เท่ากับ 22 ไมโครกรัม วิตามินเอ เท่ากับ 22.20 ไมโครกรัม และวิตามินอี เท่ากับ 0.47 มิลลิกรัม ชนิดและปริมาณแร่ธาตุที่พบ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม โพแทสเซียม เหล็ก และสังกะสี พบว่า แป้งเมล็ดทุเรียนที่ร่อนแล้วพบแร่ธาตุต่างๆ เท่ากับ 45, 20, 59, 80, 17, 4.51, และ 0.30 มิลลิกรัม ตามลำดับ

วิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส พบว่าแป้ง เมล็ดทุเรียนที่ร่อนแล้วมีปริมาณอะไมโลส 20 เปอร์เซ็นต์ จากการนำแป้ง

เมล็ดทุเรียนมาศึกษาค่าสีโดยใช้วิธี Colorimeter พบว่าแป้ง เมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองที่ร่อนแล้วมีค่าสี L^* เท่ากับ 77.67 ค่าสี a^* เท่ากับ 4.48 ค่าสี b^* เท่ากับ 10.92 นอกจากนี้แป้ง เมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองไม่พบกลูเตนในแป้ง

3. ศึกษาหาตำรับขนมครองแครงและตำรับขนมทองพับผสมแป้งเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมือง

3.1 การศึกษาตำรับขนมครองแครงกรอบผสมแป้งเมล็ดทุเรียน

เมื่อได้ตำรับมาตรฐานครองแครงกรอบแล้ว จึงนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมครองแครงทุเรียนทั้ง 3 ตำรับ ได้แก่ ค04, ค05 และ ค06 โดยแต่ละตำรับเสริมแป้งทุเรียนและเนื้อทุเรียนพื้นเมือง 2.5%, 5.0% และ 7.0% ตามลำดับ จากนั้นได้ทำการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยกลุ่มบุคคลทั่วไป จำนวน 30 คน (Table 2) การทดสอบทางประสาทสัมผัสของตำรับขนมครองแครงทุเรียน จำนวน 3 ตำรับ กับกลุ่มบุคคลทั่วไป จำนวน 30 คน พบว่าเมื่อพิจารณาในแต่ละด้านของคุณลักษณะ 6 ด้าน ได้แก่ ด้านลักษณะภายนอก สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม พบว่า ตำรับขนมครองแครงทุเรียน ค 04 (เสริมแป้งทุเรียนและเนื้อทุเรียนพื้นเมืองในตำรับ 2.5%) มีความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบมาก (Figure 5) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กับตำรับ ค06

Table 2 Sensory score of each durian Krong-Krang recipe (n=30)

Product test	Sensory score of durian Krong-Krang (\pm SD)		
	ค 04	ค 05	ค 06
Appearance	7.67 \pm 1.14a	7.63 \pm 0.80a	7.43 \pm 0.92a
Color	7.73 \pm 1.03a	7.30 \pm 0.94a	7.30 \pm 0.86a
Odor	7.70 \pm 0.86a	7.37 \pm 0.66ab	7.23 \pm 0.92b
Taste	8.00 \pm 0.82a	7.93 \pm 0.85a	7.43 \pm 0.88b
Texture	7.70 \pm 1.19a	7.63 \pm 0.80a	7.40 \pm 0.88a
Overall liking	8.00 \pm 0.82a	7.77 \pm 0.67ab	7.53 \pm 0.85b

Values followed by the same lowercase letter in the same row are not significantly difference using Duncan's multiple range test at $p > 0.05$.

3.2 เมล็ดทุเรียน

เมื่อได้ตำรับมาตรฐานครองแครงกรอบแล้ว จึงนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมทองพับทุเรียนทั้ง 3 ตำรับ ได้แก่ ท 04, ท 05 และ ท 06 โดยแต่ละตำรับเสริมแป้งทุเรียนและ

เนื้อทุเรียนพื้นเมือง 2.5%, 5.0% และ 7.0% ตามลำดับ ได้ทำการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยกลุ่มบุคคลทั่วไป จำนวน 30 คน โดยมีรายละเอียดดัง Table 3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของตำรับขนมทองพับทุเรียน จำนวน 3 ตำรับ กับกลุ่มบุคคลทั่วไป จำนวน 30 คน พบว่าเมื่อพิจารณาในแต่ละด้านของคุณลักษณะ 6 ด้าน ได้แก่ ด้านลักษณะภายนอก สี กลิ่น รสชาติเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม พบว่า ตำรับขนมครองแครงทุเรียน ท 04 (เสริมแป้งทุเรียนและเนื้อทุเรียนพื้นเมืองในตำรับ 2.5%) มีความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบมาก (Figure 5) อย่างไรก็ตามแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กับตำรับ ท 05 และ ท 06

Table 3 Sensory score of each durian Thong-Pub recipe (n=30)

Product test	Sensory score of durian Krong-Krang (\pm SD)		
	ท 04	ท 05	ท 06
Appearance	7.87 \pm 0.99a	7.87 \pm 0.72a	7.83 \pm 0.73a
Color	7.70 \pm 0.97a	7.87 \pm 0.72a	7.03 \pm 0.84b
Odor	7.93 \pm 1.03a	7.27 \pm 1.57ab	7.00 \pm 1.41b
Taste	7.57 \pm 1.61a	7.63 \pm 1.14a	7.17 \pm 1.24a
Texture	7.60 \pm 1.05a	7.47 \pm 0.76a	7.20 \pm 0.79a
Overall liking	7.93 \pm 0.81a	7.83 \pm 0.78a	7.57 \pm 1.02a

Values followed by the same lowercase letter in the same row are not significantly difference using Duncan's multiple range test at $p > 0.05$.

4. การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมครองแครงกรอบทุเรียนและขนมทองพับทุเรียน

วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของขนมครองแครงทุเรียนโดยวิธีการเทียบบัญญัติไตรยางศ์จากตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการพบว่า ตำรับขนมครองแครงทุเรียน ในปริมาณ 100 กรัม จำนวน 40 ชิ้น มีพลังงาน 288.74 กิโลแคลอรี คาร์โบไฮเดรต 47.66 กรัม ไขมัน 7.85 กรัม โปรตีน 7.08 กรัม โยอาหาร 0.67 กรัม แคลเซียม 49.19 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 157.85 มิลลิกรัม โซเดียม 35.26 มิลลิกรัม โพแทสเซียม 68.79 มิลลิกรัม วิตามินเอ 35.8 มิลลิกรัม

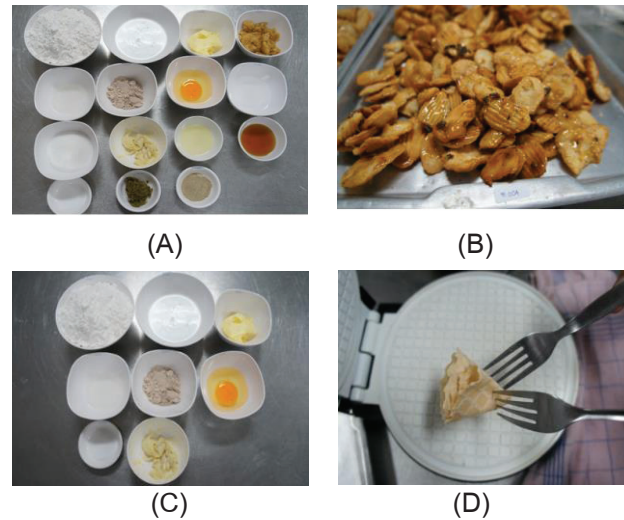


Figure 5 Ingredient and products from native durian seed flour ; Krong-Krang (A-B), and Thong-Pub (C-D)

คุณค่าทางโภชนาการของขนมทองพับทุเรียนพบว่า ตำรับขนมทองพับทุเรียน ในปริมาณ 100 กรัม จำนวน 17 ชิ้น มีพลังงาน 214.21 กิโลแคลอรี คาร์โบไฮเดรต 25.83 กรัม ไขมัน 9.86 กรัม โปรตีน 5.51 กรัม โยอาหาร 0.57 กรัม แคลเซียม 28.35 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 64.48 มิลลิกรัม โซเดียม 21.32 มิลลิกรัม โพแทสเซียม 50.35 มิลลิกรัม วิตามินเอ 20.86 มิลลิกรัม

จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ขนมครองแครงทุเรียนมาบรรจุในบรรจุภัณฑ์ถึงกลม PP (Figure 6A) เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน ทำการตรวจสอบทุกๆ 2 วัน พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมครองแครงทุเรียนมีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 12 วัน โดยเริ่มเปลี่ยนแปลงที่เนื้อสัมผัสมีความชื้นของตัวแป้งทำให้มีความกรอบลดลง มีกลิ่นเหม็นหืนของน้ำมันและไม่มีการเกิดเชื้อรา ไม่พบการเกิดเชื้อราหรือเชื้อจุลินทรีย์ ขณะที่ผลิตภัณฑ์ขนมทองพับทุเรียนในบรรจุภัณฑ์ถึงกลม PP เช่นเดียวกัน (Figure 6B) เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 14 วัน ทำการตรวจสอบทุกๆ 2 วัน พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมทองพับทุเรียนในบรรจุภัณฑ์มีอายุการเก็บไม่เกิน 14 วัน เมื่อครบ 14 วัน ลักษณะขนมมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะด้านกลิ่น โดยกลิ่นทุเรียนเริ่มจางลงและเนื้อสัมผัสมีความกรอบลดลง ไม่พบการเกิดเชื้อราหรือเชื้อจุลินทรีย์



Figure 6 Packaging ; Krong-Krang (A), and Thong-Pub (B)

วิจารณ์และสรุปผล

จากการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งจากเมล็ดทุเรียนเมื่อนำเปลือกเมล็ดออกแล้ว เม็ดแป้งมีรูปร่างเหลี่ยมหลายแบบ ผิวขรุขระ มีทั้งขนาดเล็กและ ขนาดใหญ่ขนาดประมาณ 3-10 ไมครอน มีการจัดเรียงตัวอยู่เป็นกลุ่ม มีลักษณะคล้ายกับเม็ดแป้งสาลี เม็ดแป้งทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองมีขนาดใหญ่กว่าแป้งข้าวเจ้าที่มีขนาดเล็กที่สุดเล็กน้อย เม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ได้แก่ เม็ดแป้งสาลี รองลงมา ได้แก่ เม็ดแป้งมันสำปะหลังและเม็ดแป้งข้าวโพด สอดคล้องกับรายงานของสิรินาถ ตันตเกษม (2542) พบว่าแป้งที่ผลิตได้จากเมล็ดทุเรียนมีลักษณะของเม็ดแป้งเป็นเหลี่ยมจัดเรียงตัวอยู่เป็นกลุ่ม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดแป้งมีค่าเฉลี่ย 3-5 ไมครอน⁴ โดยทั่วไปเม็ดแป้งขนาดใหญ่จะเกิดเจลลาคีใน (high gelatinization temperature หรือการสุก) ได้ก่อนขนาดเล็ก แป้งกลุ่มที่มีขนาดเล็กจะมีอุณหภูมิในการเกิดเจล สูงกว่าแป้งกลุ่มที่มีขนาดใหญ่ประมาณ 5 องศาเซลเซียส¹²

คุณค่าทางโภชนาการต่อ 100 กรัมของแป้งเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองเมื่อเปรียบเทียบกับคุณค่าทางโภชนาการกับแป้งชนิดอื่นๆ จากฐานข้อมูล National Nutrient Database for Standard Reference Release 28, USDA (United States Department of Agriculture (online), 2016)¹³ ได้แก่ แป้งสาลี แป้งชอร์กัม แป้งข้าวเจ้า (ขาว) แป้งข้าวเจ้า (น้ำตาล) และแป้งข้าวโพด พบว่าแป้งเมล็ดทุเรียนมีไขมันต่ำ 0.37 กรัม เส้นใยสูง 16.8 กรัม ธาตุเหล็กสูง 4.51 มิลลิกรัม วิตามินซีสูง 9.08 มิลลิกรัม วิตามินเอสูง 22.20 ไมโครกรัม วิตามินอีสูง 0.47 มิลลิกรัม พบปริมาณ อะไมโลส 20 เปอร์เซ็นต์ และไม่พบกลูเตน ขณะที่เมื่อนำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับรายงานของสิรินาถ ตันตเกษม (2542) ซึ่งทำการผลิตแป้งจากเมล็ดทุเรียนเช่นเดียวกันพบแป้งจากเมล็ดทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองนี้มีปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต เส้นใยสูง และมีไขมันต่ำกว่าแต่มีสีที่เข้มกว่า ส่วนปริมาณอะไมโลสในแป้งเมล็ดทุเรียนปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกับแป้งข้าวเจ้า เท่ากับร้อยละ 20.5 แต่ยังต่ำกว่าแป้งเมล็ดทุเรียนจากรายงานของสิรินาถ ตันตเกษม (2542) ซึ่งพบปริมาณอะไมโลสเท่ากับร้อยละ 34.97⁴

ผลิตภัณฑ์ขนมไทยทรงเครื่องและทองพับทุเรียนที่ได้รับความนิยมสูงสุดใช้ปริมาณการเสริมแป้งทุเรียน และเนื้อทุเรียนพื้นเมืองน้อยที่สุด คือร้อยละ 2.5 สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้โดยสิรินาถ ตันตเกษม (2542) นำเมล็ดทุเรียนมาผลิตเป็นแป้งเมล็ดทุเรียนและไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์เค้กเนยและคุกกี้ จากการนำแป้งเมล็ดทุเรียนมาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ พบว่า สามารถทดแทนได้ในปริมาณร้อยละ 20 และ 30 (โดยน้ำหนักแป้งสาลี) ตามลำดับ⁴ นอกจากนี้วิเศษชนม์ นิลลลท์และประมวล ศรีกาหลง (2556) ศึกษาการผลิตแป้งจากเมล็ดทุเรียนและใช้ประโยชน์ของแป้งในผลิตภัณฑ์ประเภทเบเกอรี่ (แฮมเบอร์เกอร์ ขนมปัง ขาไก่ และคุกกี้) การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ พบว่าการใช้แป้งเมล็ดทุเรียนในผลิตภัณฑ์ที่ระดับ 10% (โดยน้ำหนักแป้งสาลี) ได้รับการยอมรับมากที่สุดใน ด้านสี รสชาติ และการยอมรับรวม อย่างไรก็ตาม การทดแทนแป้งเมล็ดทุเรียนในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถทดแทนได้สูงสุด 20-30% โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับการทดแทนแป้งเมล็ดทุเรียนที่ 0 และ 10%⁵

คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมทรงเครื่องทุเรียนและขนมทองพับทุเรียน โดยวิธีการเทียบบัญญัติไตรยางค์จากตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการในปริมาณ 100 กรัม พบว่า ทรงเครื่องรอบให้พลังงานมากกว่าขนมทองพับ และมีใยอาหารรวมทั้งแร่ธาตุต่างๆ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม โพแทสเซียม และวิตามินเอสูงกว่าทองพับ ทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมของทรงเครื่องรอบมีส่วนผสมที่มากกว่าและประกอบด้วยผักชีที่ให้แร่ธาตุและใยอาหาร

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมทรงเครื่องทุเรียน ในบรรจุภัณฑ์ถังกลม PP สามารถเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องได้เป็นเวลา 12 วัน ส่วนผลิตภัณฑ์ขนมทองพับทุเรียนในบรรจุภัณฑ์กระปุกพลาสติกมีหูหิ้ว เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องได้เป็นเวลา 14 วัน ทั้งนี้เพื่อยืดอายุขนมได้นานขึ้นควรเก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง (35 องศาเซลเซียส) โดยการแช่เย็นจะช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ประเภทเทอร์โมไฟล์และเมโซไฟล์ได้ เชื้อไซโคลไฟล์ทำให้อาหารแช่เย็นเกิดการเน่าเสียได้แต่ยังไม่ปรากฏว่ามีเชื้อไซโคลไฟล์ที่ก่อให้เกิดโรค ดังนั้นการแช่เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5-7 °C จึงเป็นการยับยั้งการเน่าเสีย และป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคได้ อัตราการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีไม่ว่าจะเชื้อจุลินทรีย์หรือเอนไซม์มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในลักษณะเลขฐานลอการิทึม การแช่เย็นจึงเป็นการลดอัตราการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์หรือเอนไซม์ได้¹⁴

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.) ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2558 ขอขอบคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ และโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีสนองพระราชดำริโดยมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ในการเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. กลุ่มงานข้อมูลสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานจังหวัดอุตรดิตถ์. ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดอุตรดิตถ์ [อินเทอร์เน็ต] ; 2556 [เข้าถึงเมื่อ 29 ก.ย. 2557]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.uttaradit.go.th/index2.php>.
2. สุธีร์ สัตยาภรณ์. การทำการเกษตรแบบยั่งยืนของเกษตรกรในอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ; 2544.
3. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีและเครือข่ายนักวิจัยสาขาพืชในจังหวัดจันทบุรี. ทูเรียน: ผลไม้วัฒนธรรมอาเซียน. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี และเครือข่ายนักวิจัยสาขาพืชในจังหวัดจันทบุรี ; 2556.
4. สิรินาถ ดันตเกษม. สมบัติของแป้งจากเมล็ดทุเรียนและการนำไปใช้ประโยชน์. [รายงานการวิจัย]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ; 2544.
5. วริศชนม์ นิลนนท์, ประมวล ศรีกาหลง. การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งเมล็ดทุเรียน. [รายงานการวิจัย]. จันทบุรี: มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ; 2556.
6. อุบล ดีสวัสดิ์. สร้างความร่ำรวยด้วยอาหาร OTOP. กรุงเทพฯ: บริษัทสถาพรบุ๊คส์ จำกัด ; 2547.
7. จริยา เดชกุญชร. ขนมไทย เล่ม 1. กรุงเทพฯ: บริษัทสถาพรบุ๊คส์ จำกัด ; 2549ก.
8. ขนมอบ ขนมทอด. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์แสงแดด จำกัด ; 2554.
9. จริยา เดชกุญชร. ขนมไทย เล่ม 2. กรุงเทพฯ: บริษัทสถาพรบุ๊คส์ จำกัด ; 2549ข.
10. อภิญญา มานะโรจน์. ทองม้วน ทองพับ. กรุงเทพฯ: แม่บ้าน พิมพ์, ม.ป.ป.
11. กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การทหารผ่านศึก ; 2544.
12. ดุษฎี อุตภาพ. เทคโนโลยีของคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate Technology) [อินเทอร์เน็ต]; 2561 [เข้าถึงเมื่อ 10 ธ.ค. 2561]. เข้าถึงได้จาก: <https://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/index.html>.
13. United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference Release 28 [cite 2016 Mar 16]. Available from: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>.
14. กิตตยา สมยาภักดี, โสภณัฐย์ กิตติเสรีบุตร. อาหารแช่เย็น. โครงการศูนย์บริการข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบริโภคอาหาร (E-Center For Food Safety) มหาสารคาม: ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ; 2545.

ชนิดและการแพร่กระจายของหอยน้ำพริกสกุล *Nerita* (Neritidae ; Gastropoda) ในระบบนิเวศหาดหิน จังหวัดภูเก็ต

Species and distribution of gastropod genus *Nerita* (Neritidae ; Gastropoda) in Rocky Shore ecosystem, Phuket Province

สุวรรณดา ดาวเรือง¹, ภูริพงษ์ เมฆสุวรรณ^{2*}
Suwanna Dawruang¹, Phuripong Meksuwan^{2*}

Received: 8 November 2020 ; Revised: 12 May 2020 ; Accepted: 2 June 2020

บทคัดย่อ

ศึกษาชนิด การแพร่กระจาย และการปรับตัวของหอยน้ำพริกสกุล *Nerita* ในระบบนิเวศหาดหินชายฝั่งทะเลจังหวัดภูเก็ต เก็บข้อมูลหอยน้ำพริกใน 5 พื้นที่ ได้แก่ หาดปลื้มสุข หาดในยาง อ่าวปอ หาดบางเทา และอ่าวยอน ระหว่างเดือน ตุลาคม 2561 ถึง มกราคม 2562 โดยวางแนวเส้นสำรวจตั้งฉากกับชายฝั่ง สุ่มตัวอย่างหอยโดยใช้กรอบนับประชากรขนาด 50x50 เซนติเมตร จำนวน 3 กรอบ ในทุกๆ 2 เมตรของเส้นสำรวจ บันทึกข้อมูลชนิด จำนวน และตำแหน่งที่พบหอยตลอดแนวเส้นสำรวจ การวิจัยครั้งนี้พบหอยน้ำพริกสกุล *Nerita* ทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ *N. albicilla*, *N. alveolus*, *N. chamealeon*, *N. costata*, *N. histrio* และ *N. polita* พื้นที่ศึกษาที่มีค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon (H') สูงที่สุด คือ หาดในยาง ($H' = 1.01$) และน้อยที่สุด คือ หาดปลื้มสุข ($H' = 0.62$) พื้นที่ที่มีค่าดัชนีความคล้ายคลึงของ Sørensen (C_s) สูงที่สุด คือ หาดในยางและหาดปลื้มสุข ($C_s = 0.80$) หอยชนิดที่แพร่กระจายมากที่สุด คือ *N. chamealeon* พบใน 5 พื้นที่ ขณะที่ชนิดที่แพร่กระจายน้อยที่สุด คือ *N. histrio* พบใน 1 พื้นที่ การศึกษาการแพร่กระจายของหอยน้ำพริกในแต่ละพื้นที่ศึกษาพบว่า ชนิดที่พบใกล้กับระดับน้ำขึ้นสูงสุดมากที่สุด คือ *N. alveolus* พบในช่วง 0-16 เมตร ชนิดที่พบห่างจากชายฝั่งออกมา คือ *N. chamealeon* และ *N. polita* พบในช่วง 2-26 เมตร (ยกเว้นอ่าวปอ) ชนิดที่พบห่างจากชายฝั่งมากที่สุด คือ *N. albicilla* พบตั้งแต่ระยะ 14 เมตรจนถึงระดับน้ำทะเลต่ำสุด ส่วนชนิดอื่นๆ พบจำนวนน้อยและไม่ปรากฏรูปแบบการแพร่กระจายที่ชัดเจน

คำสำคัญ: หอยน้ำพริก หาดหิน ภูเก็ต ดัชนีความหลากหลายของ Shannon

Abstract

Species, distribution, and adaptation of *Nerita* gastropods inhabiting a rocky shore ecosystem of Phuket Province were studied. The Nerites were recorded from 5 sampling sites ; Pleumsuk beach, Nai yang beach, Por bay, Bangtao beach, and Yon bay. The sampling was done during October 2018 - January 2019. At each site, a line transect was set up perpendicularly to the coast. Three 50x50 cm quadrats were used to sample Nerites in every 2 m-long area along the line transect. Nerites were identified and counted, and their position was recorded. The present study identified 6 species of *Nerita* gastropods, namely *N. albicilla*, *N. alveolus*, *N. chamealeon*, *N. costata*, *N. histrio* and *N. polita*. The study site with the highest Shannon diversity index (H') was Nai yang beach ($H' = 1.01$), and the lowest was Pleumsuk beach ($H' = 0.62$). Sørensen similarity index (C_s) was highest between Nai yang beach and Pleumsuk beach. The species that showed widest distribution was *N. chamealeon* which was recorded at 5 sites, whereas *N. histrio* had the

¹ นักศึกษา, หลักสูตรชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต 21 หมู่ 6 ตำบลรัษฎา อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต 83000

² อาจารย์, หลักสูตรวิทยาศาสตร์ (เอกชีววิทยา) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต 21 หมู่ 6 ตำบลรัษฎา อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต 83000

¹ Student, Biology Program, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University, 21 M.6, Ratsada, Muang District, Phuket, 83000.

² Lecturer, Science Program (Biology Major), Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University, 21 M.6, Ratsada, Muang District, Phuket, 83000.

* Corresponding author ; Phuripong Meksuwan, E-mail address: phuripong.m@pkru.ac.th

narrowest distribution and was recorded at only one site. At each site, *N. alveolus* inhabited locations closest to the highest tidal zone (0-16 meters), *N. chamealeon* and *N. polita* inhabited a lower zone (2-26 meters) (except for Por bay), and *N. albicilla* was mostly recorded far from the highest tidal zone (14 meters - the lowest tide). Other species were found in smaller numbers and no obvious distribution pattern was recognized.

Keywords: Nerite, Rocky shore, Phuket, Shannon diversity index

บทนำ

หอยน้ำพริก (Nerite) เป็นหอยฝาเดียวในวงศ์ Neritidae พบอาศัยอยู่ทั้งในแหล่งน้ำจืด น้ำกร่อย และทะเล ปัจจุบันทั่วโลกพบหอยวงศ์นี้ประมาณ 260 ชนิด¹ สกุล *Nerita* เป็นสกุลที่มีความหลากหลายของชนิดมากที่สุดในวงศ์นี้ มักพบอาศัยอยู่ในระบบนิเวศชายฝั่งทะเลเขตร้อนชื้นน้ำจืดโดยเฉพาะบริเวณหาดหิน (rocky shore) ประเทศไทยพบหอยน้ำพริกสกุล *Nerita* จำนวน 14 ชนิด ผังอ่าวไทยพบ 11 ชนิด และฝั่งอันดามันพบ 14 ชนิด² หอยน้ำพริกมีบทบาทในการควบคุมประชากรสาหร่ายขนาดเล็ก เป็นอาหารของสัตว์ต่างๆ เช่น ปู นกทะเล รวมถึงคนในชุมชนชายฝั่งทะเล เปลือกใช้เป็นเครื่องประดับ และมีการเลี้ยงหอยน้ำพริกในอะควาเรียมหรือฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อควบคุมประชากรสาหร่ายในถังเลี้ยงสัตว์น้ำ³

ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาความหลากหลายและการแพร่กระจายของกลุ่มหอยน้ำพริกสกุล *Nerita* โดยเฉพาะ รายชื่อชนิดของหอยน้ำพริกสกุลนี้ที่พบในประเทศไทยมาจากการศึกษาชนิดของหอยทะเลในพื้นที่หนึ่งๆ สำหรับฝั่งอ่าวไทย เช่น Sanpanich & Duangdee (2013)⁴ ศึกษาตัวอย่างหอยทะเลฝาเดียวที่เก็บจากระบบนิเวศชายฝั่งในพื้นที่ จ.ชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด พบหอยทะเลฝาเดียวทั้งหมด 306 ชนิด โดยพบหอยสกุล *Nerita* จำนวน 9 ชนิด ทางฝั่งทะเลอันดามัน เช่น ศิริพร (2557)⁵ สำรวจชนิดพันธุ์และศึกษาการติดเชื้อพยาธิใบไม้ของหอยฝาเดียวและหอยสองฝาบริเวณชายฝั่งทะเล จ.ระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง และสตูล พบหอยฝาเดียว 36 ชนิด ในจำนวนนี้พบหอยน้ำพริกสกุลนี้ 2 ชนิด

จังหวัดภูเก็ตมีลักษณะเป็นเกาะที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย เป็นแหล่งท่องเที่ยวทางวัฒนธรรม อาหาร และทรัพยากรธรรมชาติซึ่งประกอบด้วยระบบนิเวศที่หลากหลาย เช่น ป่าชายเลน หาดทราย หาดหิน แหล่งหญ้าทะเล แนวปะการัง เป็นต้น อย่างไรก็ตามการพัฒนาและเติบโตของชุมชนเมืองและแหล่งท่องเที่ยวย่อมส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติของเกาะภูเก็ต โดยข้อมูลความหลากหลายและการแพร่กระจายของชนิดพันธุ์สิ่งมีชีวิตเป็นข้อมูลสำคัญที่สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศของเกาะภูเก็ตได้ ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาชนิด การ

แพร่กระจาย และการปรับตัวทางชีววิทยาของหอยน้ำพริกสกุล *Nerita* ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลของเกาะภูเก็ต ซึ่งข้อมูลนี้จะช่วยเพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจทางด้านทรัพยากรชีวภาพของจังหวัดภูเก็ตและเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพของระบบนิเวศชายฝั่งทะเลบนเกาะภูเก็ตได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์และวิธีการศึกษา

พื้นที่เก็บข้อมูลหอยน้ำพริก

การวิจัยครั้งนี้เก็บข้อมูลชนิด ความหนาแน่น และการแพร่กระจายของหอยน้ำพริกสกุล *Nerita* ที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศหาดหินใน 5 พื้นที่บนเกาะภูเก็ต ได้แก่ หาดในยาง หาดบางเทา อ่าวปอ หาดปल्लीมสุข และอ่าวยอน (Figure 1) ระหว่างเดือน ตุลาคม 2561 - มกราคม 2562

การเก็บข้อมูลในภาคสนาม

ในแต่ละพื้นที่ศึกษา กำหนดระยะ 0 เมตร ณ แนวน้ำขึ้นสูงสุด (สังเกตจากแนวตะกอนและสันทราย) วางแนวเส้นสำรวจโดยใช้สายวัดจากระยะที่ 0 จนถึงระดับน้ำลงต่ำสุด ซึ่ง ณ วันที่สำรวจความยาวของเส้นสำรวจของหาดในยาง หาดบางเทา อ่าวปอ หาดปल्लीมสุข และอ่าวยอน มีความยาวประมาณ 40, 30, 45, 30 และ 25 เมตร ตามลำดับ

สุ่มวางกรอบนับประชากร (Quadrat) ขนาด 50x50 เซนติเมตร จำนวน 3 กรอบ ทางด้านซ้ายและ/หรือขวาของเส้นสำรวจในทุกๆ 2 เมตร จากระยะที่ 0 ถึงระดับน้ำลงต่ำสุด จำแนกชนิดและนับจำนวนหอยน้ำพริกสกุล *Nerita* ทุกตัวที่พบในกรอบนับประชากร นอกจากนี้บันทึกข้อมูลความชันของหาดหินตรงพื้นที่สำรวจ โดยใช้วิธีหาค่าความต่างของระดับน้ำบนเสาวัดระดับ ทุกๆ 3 เมตรจากระยะที่ 0 ถึงระดับน้ำลงต่ำสุด

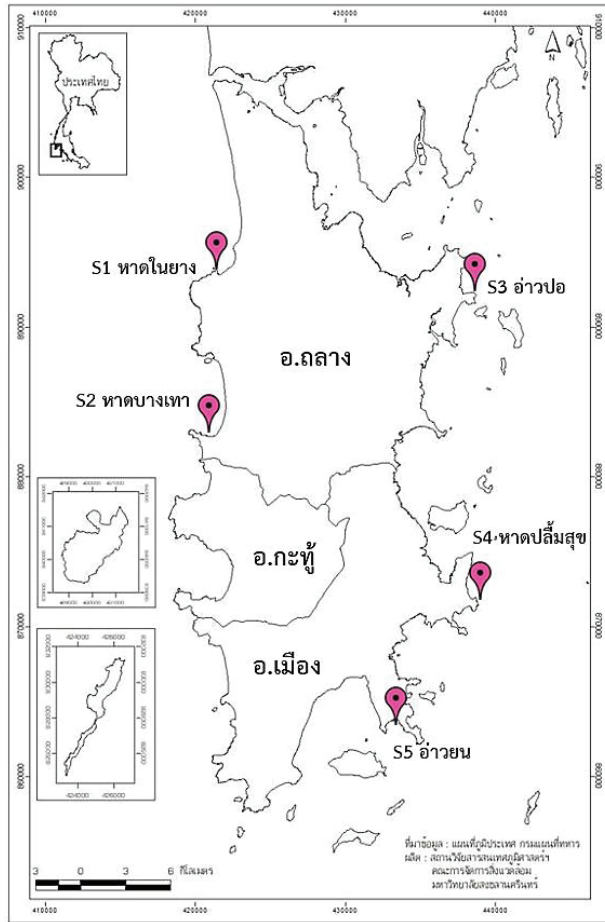


Figure 1 Sampling sites of *Nerita* gastropods exhibiting in rocky shore ecosystem, Phuket Province

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลาย (diversity index) จากข้อมูลชนิดและความชุกชุมของหอยน้ำพริกในแต่ละพื้นที่ศึกษาโดยใช้ดัชนีของ Shannon (H') ตามสูตรการคำนวณดังนี้⁶

$$H' = -\sum (p_i \ln p_i)$$

โดย

H' = ค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon

ln = ลอการิทึมธรรมชาติ (natural logarithm)

p_i = ค่าสัดส่วนของจำนวนตัวของชนิดหนึ่ง ๆ ต่อจำนวนตัวทั้งหมดของทุกชนิดที่พบ

วิเคราะห์ค่าดัชนีความคล้ายคลึง (similarity index) ของสังคมหอยน้ำพริกระหว่างพื้นที่ศึกษาโดยใช้ดัชนีของ Sørensen (Cs) ดังนี้⁶

$$Cs = \frac{2a}{2a+b+c}$$

โดย

Cs = ดัชนีความคล้ายคลึงของ Sørensen

a = ชนิดที่พบทั้ง 2 พื้นที่

b = ชนิดที่พบเฉพาะพื้นที่ที่ 1

c = ชนิดที่พบเฉพาะพื้นที่ที่ 2

การจำแนกชนิดของหอยน้ำพริกสกุล *Nerita* ใช้เอกสารของ Okutani (2000)⁷, Poutiers (1998)⁸ และ Swennen et al. (2001)⁹

ผลการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้พบหอยน้ำพริกสกุล *Nerita* จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ *N. albicilla*, *N. alveolus*, *N. chamealeon*, *N. costata*, *N. histrio* และ *N. polita* (Figure 2) หอยน้ำพริกชนิดที่มีการแพร่กระจายมากที่สุด คือ *N. chamealeon* พบทั้ง 5 พื้นที่ศึกษา รองลงมา คือ *N. alveolus*, *N. costata* และ *N. albicilla* พบใน 3 พื้นที่เท่ากัน *N. polita* พบใน 2 พื้นที่ และชนิดที่แพร่กระจายน้อยที่สุด คือ *N. histrio* พบใน 1 พื้นที่ศึกษา (Table 1)

Table 1 Species and distribution of *Nerita* gastropods in 5 study sites in Phuket Province

	หาด ไถ่ยาง	หาด บางเบา	อ่าว อ้อ	หาด ปลื้มสุค	อ่าว ยง
<i>N. albicilla</i>	+			+	+
<i>N. alveolus</i>	+	+		+	
<i>N. chamealeon</i>	+	+	+	+	+
<i>N. costata</i>	+			+	+
<i>N. histrio</i>			+		
<i>N. polita</i>	+	+			

การจำแนกชนิดของหอยน้ำพริกที่พบในการวิจัยครั้งนี้แสดงดังรูปวิธานแบบสองตัวเลือก (dichotomous key) ดังนี้

1. - ก) ผิวเปลือกเรียบ มันวาว มีลายหลายรูปแบบ และหลากสี ริมฝีปากด้านนอกเป็นแถบสีเหลือง *Nerita polita* Linnaeus, 1758
- ข) ผิวเปลือกไม่เรียบ เป็นร่องตามยาวหรือตามขวาง ริมฝีปากด้านนอกไม่มีแถบสีเหลือง..... 2.

2. - ก) ร่องตามยาวบนผิวเปลือกมีจำนวนน้อยหรือไม่ชัดเจน เปลือกส่วนท้ายค่อนข้างแหลมคล้าย จงอย ริมฝีปากด้านในมีปุ่มจำนวนมากแต่ไม่เป็นซี่ฟัน *Nerita albicilla* Linnaeus, 1758
- ข) ร่องตามยาวบนผิวเปลือกมีจำนวนมากและชัดเจน เปลือกส่วนท้ายไม่แหลมเป็นจงอย ริมฝีปากด้านในมีทั้งปุ่มและซี่ฟัน 3.
3. - 3ก) ผิวเปลือกเป็นร่องลึกตามยาว เปลือกมีสีน้ำตาลจนถึงดำ ไม่มีลวดลาย ริมฝีปากด้านนอกและด้านในมีซี่ฟันใหญ่ชัดเจน ด้านนอกมีจำนวนมาก ด้านในมี 4 ซี่..... *Nerita costata* Gmelin, 1791
- 3ข) ผิวเปลือกเป็นร่องตื้น มีลวดลาย ริมฝีปากด้านนอกและด้านในมีซี่ฟันขนาดเล็กหรือไม่มีซี่ฟัน 4.

4. - 4ก) เปลือกรูปทรงคล้ายรูปไข่ มีความกว้างมากกว่า 1.5 เท่าของความสูง ริมฝีปากด้านนอกไม่มีซี่ฟัน *Nerita alveolus* Hombron & Jacquinot, 1848
- 4ข) เปลือกไม่เป็นรูปไข่ มีความกว้างน้อยกว่า 1.5 เท่าของความสูง ริมฝีปากด้านนอกมีซี่ฟัน..... 5.
5. - 5ก) ขอบปากเปลือกค่อนข้างแผ่กว้าง ริมฝีปากด้านในเป็นปุ่มและแฉกนอกมีซี่ฟันจำนวนมาก *Nerita histrio* Linnaeus, 1758
- 5ข) ขอบปากเปลือกไม่แผ่กว้าง ริมฝีปากด้านในเป็นปุ่มและมีซี่ฟันที่เด่นชัดจำนวน 4-6 ซี่..... *Nerita chamaeleon* Linnaeus, 1758

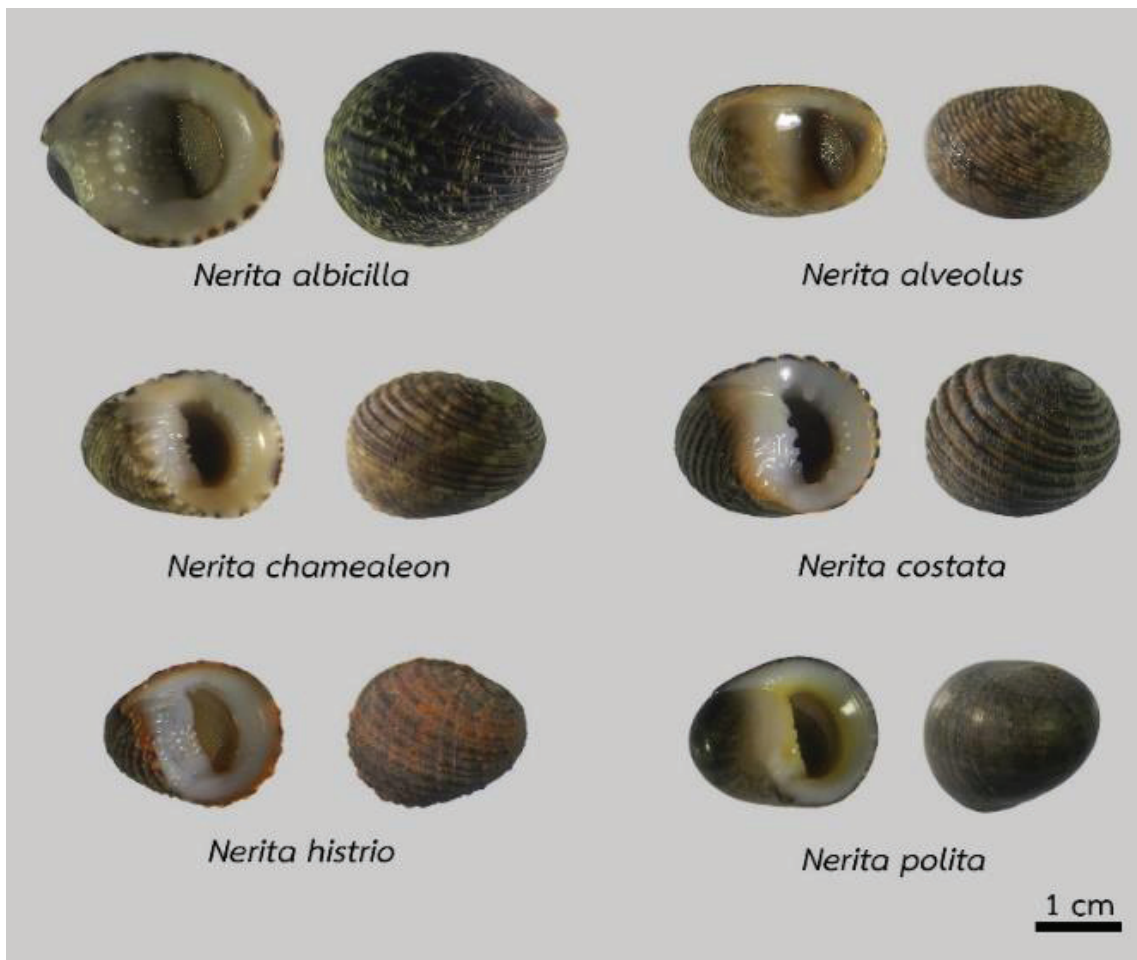


Figure 2 Photographs of *Nerita* gastropods collected from rocky shore ecosystem of Phuket Province

พื้นที่ศึกษาที่มีค่าดัชนีความหลากหลายของหอยน้ำพริกสกุล *Nerita* สูงที่สุด คือ หาดในยาง ($H' = 1.01$) รองลงมาคือ อ่าวยอน ($H' = 0.96$) หาดบางเทา ($H' = 0.75$)

อ่าวปอ ($H' = 0.68$) ตามลำดับ และน้อยที่สุด คือ หาดปริ่มสุข ($H' = 0.62$) (Figure 3)

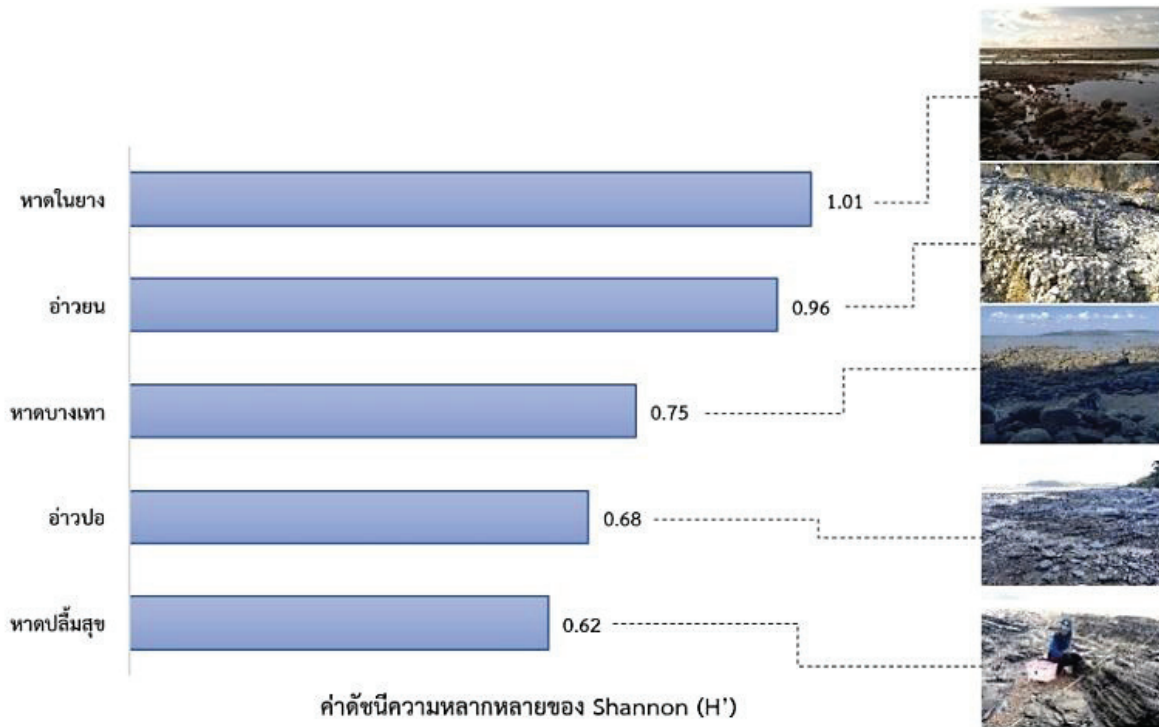


Figure 3 Shannon diversity index (H') of *Nerita* gastropods in 5 study sites in Phuket Province

จากการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของสังคมหอยน้ำพริกระหว่างพื้นที่ศึกษาโดยใช้ดัชนีความคล้ายคลึงของ Sørensen (Cs) พบว่าหาดในยางกับหาดปल्लीมสุขมีสังคมหอยน้ำพริกคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Cs = 0.80) รองลงมาคือ หาดปल्लीมสุขกับอ่าวยวน (Cs = 0.75) และน้อยที่สุดคือ หาดในยางกับอ่าวปอ (Cs = 0.17) (Table 2)

Table 2 Sørensen similarity index of *Nerita* gastropod community among 5 study sites in Phuket Province

	หาดในยาง	หาดบางเทา	อ่าวปอ	หาดปल्लीมสุข
อ่าวยวน	0.60	0.20	0.25	0.75
หาดปल्लीมสุข	0.80	0.40	0.20	
อ่าวปอ	0.17	0.25		
หาดบางเทา	0.60			

ผลการศึกษการแพร่กระจายของหอยน้ำพริกสกุล *Nerita* บนหาดหินในแต่ละพื้นที่ศึกษาพบว่า หอยน้ำพริกชนิดที่อาศัยอยู่ใกล้เขตน้ำขึ้นสูงสุดบ่อยครั้งที่สุดคือ *N. alveolus* พบใน 3 พื้นที่ศึกษาในระยะ 0-16 เมตร ถัดลงมาเป็นชนิด *N. chamaeleon* และ *N. polita* ซึ่งมักมีพื้นที่อาศัยซ้อนทับกันในระยะ 2-26 เมตร ยกเว้นอ่าวปอซึ่งพบ *N. chamaeleon* ตั้งแต่ระยะ 0 เมตร ชนิดที่พบใกล้กับระดับน้ำทะเลต่ำสุดบ่อยครั้งที่สุดคือ *N. albicilla* พบในระยะ 14-30 เมตร หอยน้ำพริกชนิดอื่นๆ พบจำนวนตัวไม่มากและไม่มีรูปแบบการแพร่กระจายที่เด่นชัด (Figure 4)

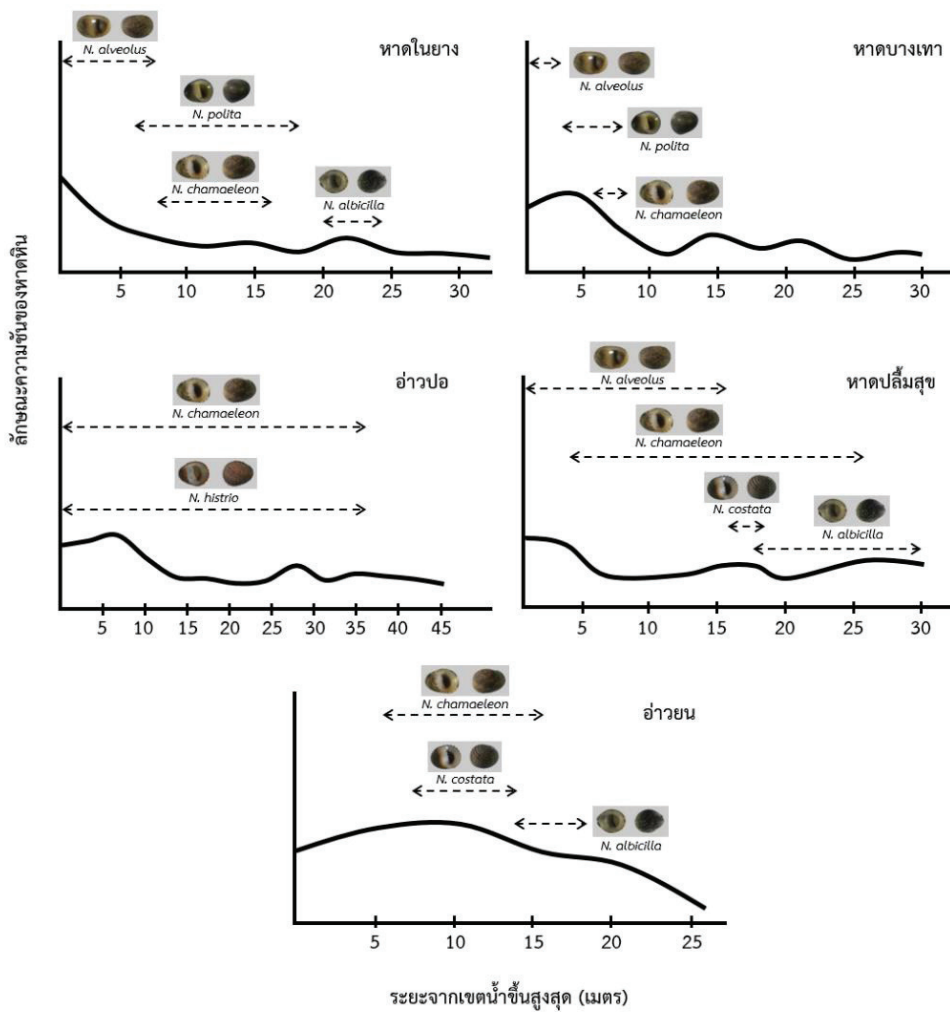


Figure 4 Species distribution of *Nerita* gastropods in each study sites in Phuket Province

วิจารณ์และสรุปผล

การศึกษาครั้งนี้เก็บข้อมูลหอยน้ำพริกสกุล *Nerita* จากพื้นที่ศึกษาจำนวน 5 พื้นที่บนเกาะภูเก็ต พบหอยน้ำพริก 6 ชนิด ได้แก่ *N. albicilla*, *N. alveolus*, *N. chamealeon*, *N. costata*, *N. histrio* และ *N. polita* ถึงแม้ว่าจำนวนชนิดที่พบในการศึกษาครั้งนี้จะค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนชนิดที่พบในประเทศไทยคือ 11 ชนิดทางฝั่งอ่าวไทย และ 14 ชนิดสำหรับฝั่งอันดามัน² อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยหอยทะเลเชิงพื้นที่ในจังหวัดหนึ่งๆ พบว่า จังหวัดภูเก็ตมีความหลากหลายของหอยน้ำพริกสกุลนี้ใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่นๆ เช่น สหส (2558)¹⁰ ศึกษาสัตว์น้ำไม่มีกระดูกสันหลังในระบบนิเวศชายฝั่ง อำเภอสุษสำราญ จังหวัดระนอง และบริเวณใกล้เคียง พบหอยน้ำพริกสกุล *Nerita* จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ *N. albicilla*, *N. articulata*, *N. chamealeon*, *N. costata*, *N. planospira* และ *Nerita polita* โดย Sanpanich & Duangdee (2013)⁴ รายงานจำนวนชนิดหอยน้ำพริกสกุล

นี้ในจังหวัดชลบุรี 6 ชนิด ระยอง 5 ชนิด จันทบุรี 3 ชนิด และตราด 1 ชนิด เป็นต้น ดังนั้นข้อมูลความหลากหลายของหอยน้ำพริกในจังหวัดภูเก็ตจากการวิจัยครั้งนี้ถือเป็นข้อมูลที่ค่อนข้างสมบูรณ์และสามารถนำไปใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศบริเวณชายฝั่งทะเลของจังหวัดภูเก็ตได้ อย่างไรก็ตามในอนาคตหากมีการศึกษาหอยน้ำพริกในระบบนิเวศอื่นๆ เช่น ป่าชายเลน รวมถึงเกาะต่างๆ ของจังหวัดภูเก็ต จะทำให้ข้อมูลทรัพยากรชีวภาพของหอยกลุ่มนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

พื้นที่เก็บตัวอย่างที่มีค่าดัชนีความหลากหลายของหอยน้ำพริกสูงที่สุดคือ หาดโนยาง มีค่า H' เท่ากับ 1.01 โดยพบหอยน้ำพริกทั้งสิ้น 5 ชนิด ได้แก่ *N. albicilla*, *N. alveolus*, *N. chamealeon*, *N. costata* และ *N. polita* การพบความหลากหลายของหอยน้ำพริกสูงบริเวณหาดโนยางอาจเนื่องมาจากหาดโนยางตั้งอยู่ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติสิรินาถซึ่งเป็นพื้นที่อนุรักษ์จึงได้รับการรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์น้อยกว่า

พื้นที่อื่นๆ อย่างไรก็ตาม หาดปลั้มสุขพบหอยน้ำพริกจำนวน 4 ชนิด แต่มีค่า H' ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.62 เนื่องจากหอยน้ำพริกแต่ละชนิดที่พบมีจำนวนตัวแตกต่างกันอย่างมาก เช่น *N. alveolus* พบทั้งสิ้น 3 ตัว ขณะที่ *N. chamealeon* พบ 145 ตัว จากการสุ่มตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งดัชนีความหลากหลายของ Shannon จะให้ค่าความหลากหลายที่สูงกับสังคมสิ่งมีชีวิตที่แต่ละชนิดมีจำนวนตัวใกล้เคียงกัน ขณะที่จะให้ค่าความหลากหลายน้อยกว่าแก่สังคมสิ่งมีชีวิตที่มีจำนวนตัวแตกต่างกันมากกว่า⁶

พื้นที่ศึกษาที่มีค่าดัชนีความคล้ายคลึงของสังคมหอยน้ำพริกมากที่สุดคือ หาดในยางกับหาดปลั้มสุข มีค่า Cs เท่ากับ 0.80 หาดในยางตั้งอยู่ทางฝั่งตะวันตกของเกาะภูเก็ต ส่วนหาดปลั้มสุขตั้งอยู่ทางฝั่งตะวันออกของเกาะ ซึ่งน่าแปลกใจที่ 2 พื้นที่นี้มีความคล้ายคลึงกันของสังคมหอยน้ำพริกมากกว่าพื้นที่ที่อยู่ใกล้กว่า ข้อสันนิษฐานประการหนึ่งคือหาดในยางเป็นพื้นที่อุทยานแห่งชาติซึ่งไม่ถูกรบกวนโดยกิจกรรมของมนุษย์ ขณะที่หาดปลั้มสุขแม้จะติดกับพื้นที่ของชุมชนและมีร้านอาหารติดหาด แต่พื้นที่หาดหินที่เก็บตัวอย่างหอยน้ำพริกเป็นบริเวณที่ค่อนข้างไกลจากบริเวณร้านอาหารและนักท่องเที่ยวเข้าถึงได้ไม่สะดวกนัก จึงอาจส่งผลให้บริเวณหาดหินของหาดปลั้มสุขถูกรบกวนน้อยเช่นเดียวกับบริเวณหาดหินของหาดในยาง

จากการศึกษารั้วนี้พบว่าหอยน้ำพริกชนิด *N. chamealeon* แพร่กระจายอยู่ในทุกพื้นที่ที่ทำการสำรวจได้แก่ หาดปลั้มสุข หาดบางเทา อ่าวปอ อ่าววน และหาดในยาง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า หอยน้ำพริกชนิดนี้สามารถปรับตัวให้อยู่ในสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี โดยมีรายงานว่า *N. chamealeon* มีเขตการแพร่กระจายพันธุ์อยู่ในเขตอินโดแปซิฟิกตะวันตกซึ่งครอบคลุมภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ทั้งหมด⁷ สำหรับการศึกษาความหลากหลายและการแพร่กระจายของหอยวงศ์ Neritidae ในประเทศสิงคโปร์ซึ่งพบหอยสกุล *Nerita* ทั้งหมด 11 ชนิด โดยหอยชนิด *N. chamealeon* มีการแพร่กระจายค่อนข้างกว้างเช่นเดียวกับที่พบใน 12 จุด จาก 31 จุดเก็บตัวอย่าง¹¹

สำหรับพื้นที่ที่มีหอยน้ำพริกชนิด *N. alveolus* อาศัยอยู่พบว่า หอยชนิดนี้จะเป็นชนิดที่พบใกล้กับแนวน้ำขึ้นสูงสุดมากที่สุด *N. alveolus* มีขนาดค่อนข้างเล็กและเปลือกค่อนข้างบางเมื่อเปรียบเทียบกับหอยชนิดอื่นๆ ด้วยเหตุนี้อาจเป็นสาเหตุให้ *N. alveolus* ต้องอาศัยอยู่ในพื้นที่ที่ค่อนข้างห่างจากแนวน้ำทะเลขึ้นเพื่อป้องกันการซัดเข้าหาฝั่งของกระแสน้ำ สำหรับบริเวณถัดลงมามักพบหอยชนิด *N. chamealeon* และ *N. polita* ซึ่งทั้ง 2 ชนิดมีขนาดตัวใหญ่กว่า *N. alveolus* มีเปลือกหนากว่า และมีปากเปลือกค่อนข้างแผ่กว้าง ซึ่งลักษณะนี้อาจช่วยให้ *N. chamealeon* และ *N. polita* ด้านทานต่อ

กระแสน้ำได้ดีกว่า *N. alveolus* สำหรับหอยชนิดที่พบใกล้กับเขตน้ำลงต่ำสุดมากที่สุดคือ *N. albicilla* ชนิดนี้มีขนาดใหญ่ที่สุด เปลือกหนาและปากเปลือกแผ่กว้างกว่าหอยชนิดอื่นๆ ซึ่งคาดว่า *N. albicilla* ทนต่อกระแสน้ำได้มากที่สุด

ระบบนิเวศหาดหิน เป็นระบบนิเวศที่มีปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างจากระบบนิเวศอื่นๆ หลายประการ เช่น สภาพพื้นที่ที่แข็งซึ่งไม่สามารถเก็บกักความชื้นได้ พื้นที่หาดได้รับอิทธิพลจากแสงแดดโดยตรงซึ่งสิ่งมีชีวิตบนหาดหินต้องเผชิญกับแสงอาทิตย์และความร้อนที่สูง นอกจากนี้หาดหินยังได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำขึ้นน้ำลงในรอบวัน อย่างไรก็ตามหาดหินมักมีซอกหินสำหรับเป็นแหล่งหลบภัยให้กับสิ่งมีชีวิตต่างๆ และมักมีแอ่งน้ำขัง (tide pool) ซึ่งจะยังคงเก็บกักความชื้นได้ในระยะเวลาหนึ่ง แต่แอ่งน้ำขังก็มักมีความเค็มที่สูงจากความเข้มข้นของเกลือที่หลงเหลือจากการระเหยของน้ำทะเลเช่นกัน¹²

สำหรับกลุ่มหอยน้ำพริกที่อาศัยอยู่บริเวณหาดหินพบว่าหอยน้ำพริกมีการปรับตัวในหลายลักษณะ เช่น หอยน้ำพริกชนิด *N. costata* จะอยู่กันเป็นกลุ่มจำนวนมากในซอกหินซึ่งอาจช่วยให้หอยหลบภัยจากกระแสน้ำที่ซัดเข้าหาฝั่งในช่วงน้ำขึ้นสูงสุด นอกจากนี้การหลบอยู่ในซอกหินในช่วงน้ำลงต่ำสุดของหอยชนิดนี้อาจช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำได้

หอยน้ำพริกชนิด *N. alveolus* เป็นชนิดที่อยู่ห่างจากระดับน้ำทะเลมากที่สุด อาจเป็นเพราะการปรับตัวเพื่อหนีจากกระแสน้ำที่ซัดเข้าหาฝั่งเพราะหอยชนิดนี้มีเปลือกค่อนข้างบางและมีขนาดเล็ก นอกจากนี้มักพบว่าหอยชนิดนี้จะหลบหนีจากแสงแดดไปอยู่บริเวณใต้โขดหินเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ

หอยน้ำพริกชนิด *N. polita* และ *N. chamealeon* มักพบมากบริเวณที่มีแอ่งน้ำขัง ซึ่งจากการสังเกตพบว่าหอย 2 ชนิดนี้เคลื่อนที่ได้ค่อนข้างดีและรวดเร็ว จึงอาจเลือกวิธีการป้องกันการสูญเสียน้ำในร่างกายขณะน้ำทะเลลดลงต่ำโดยการเข้าไปอยู่อาศัยในแอ่งน้ำขัง นอกจากนี้พบว่าหอยทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะลวดลายบนเปลือกที่หลากหลายซึ่งอาจช่วยในการพรางตัวหลบภัยจากศัตรูผู้ล่าได้ดี

หอยน้ำพริกชนิด *N. albicilla* มักอาศัยอยู่บริเวณเขตน้ำลงต่ำสุด หอยชนิดนี้มีเปลือกขนาดใหญ่ หนา ปากแผ่กว้างและเปลือกมีรูปร่างเรียวยาวแหลม ซึ่งน่าจะทำให้ทนต่ออิทธิพลของกระแสน้ำได้ดีโดยการยึดเกาะกับพื้นหินได้อย่างแข็งแรง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงษ์รัตน์ ดำรงโรจน์วัฒนา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และคุณจอม ปัทมคันธิน สำหรับความช่วยเหลือในการจำแนกชนิดหอยน้ำพริกและคำแนะนำเกี่ยวกับการศึกษาหอยทะเล

เอกสารอ้างอิง

1. Roskov Y, Ower G, Orrell T, Nicolson D, Bailly N, Kirk PM, Bourgoin T, DeWalt RE, Decock W, Nieukerken E van, Zarucchi J, Penev L, eds. Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2019 Annual Checklist [Online]. Available from: www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2019. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands. ISSN 2405-884X Accessed 28 Nov, 2019.
2. Nabhitabhata J. Checklist of Mollusca Fauna in Thailand. Bangkok: Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning ; 2009.
3. กรรณิการ์ ศรีอินทร์. หอยน้ำพริก (ออนไลน์) ได้จาก http://www.nicaonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=585:2012-02-22-07-11-01&catid=38:2012-02-20-02-58-39&Itemid=120 Accessed 28 Nov, 2019.
4. Sanpanich K, Duangdee T. The biodiversity of marine gastropods of Thailand in the late decade. Malaysian Journal of Science. 2013 ; 32(SCS Sp Issue) : 47-64. https://www.researchgate.net/publication/261474468_The_Biodiversity_of_Marine_Gastropods_of_Thailand_in_the_Late_Decade
5. ศิริพร บุตร์นิล. ความหลากหลายชนิดพันธุ์และการติดเชื้อพยาธิใบไม้ของหอยฝาเดียวและหอยสองฝา บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามันในประเทศไทย ; 2557. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยศิลปากร. http://www.thapra.lib.su.ac.th/thesis/showthesis_th.asp?id=0000012036
6. Magurran AE. Measuring biological diversity. UK: Blackwell Science Ltd. ; 2004.
7. Okutani T. Marine Mollusks in Japan. Japan: Tokai University Press ; 2000.
8. Poutiers JM. Gastropods. Ln: Carpenter KE, Niem VH, editors. The living marine resources of the Western Central Pacific. Volume 1. Seaweeds, corals, bivalves, and gastropods. Rome: FAO ; 1998. P. 420-430.
9. Swennen C, Moolenbeek RG, Rutlanadaku N, Hobbelink H, Dekker H, Hajisamae S. The molluscs of the southern Gulf of Thailand. Bangkok, Thailand: BRT ; 2001.
10. สหัฐ ราชเมืองขวาง. สัตว์น้ำไม่มีกระดูกสันหลังในระบบนิเวศชายฝั่ง อ่าวเภอสุขสำราญ จังหวัดระนองและบริเวณใกล้เคียง. ศึกษานิพนธ์เพื่อการพัฒนาชายฝั่งอันดามัน คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ; 2558.
11. Tan SK, Clements R. Taxonomy and distribution of the Neritidae (Mollusca: Gastropoda) in Singapore. Zoological Studies. 2008 ; 47(4) : 481-494. https://www.researchgate.net/publication/215781674_Taxonomy_and_distribution_of_the_Neritidae_Mollusca_Gastropoda_in_Singapore
12. Castro P, Huber ME. Marine biology (4th edition). New York: McGraw-Hill ; 2003.

องค์ประกอบทางเคมี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดถึงเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris*) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเหลว และอาหารเพาะแข็งธัญพืชลูกเดือย

Chemical components and antioxidant activity of extracts from *Cordyceps militaris* cultured in liquid and Job's-Tears solid media

เยาวภา ทองอร่าม¹

Yaowapar Tongaram¹

Received: 22 March 2020 ; Revised: 22 June 2020 ; Accepted: 2 July 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดถึงเช่าสีทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเหลว และอาหารเพาะแข็งธัญพืชลูกเดือย ผลการศึกษาขององค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี GC-MS พบสารในสารสกัดถึงเช่าสีทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเหลว 23 ชนิด ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะแข็งธัญพืชลูกเดือย 26 ชนิด มีสารเหมือนกันในสารสกัดทั้งสอง 16 ชนิด และสารหลักที่พบในสารสกัดทั้งสองชนิด คือ คอไรโดซีปีน โดยพบในสารสกัดถึงเช่าสีทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเหลว 20.57 % area ซึ่งมากกว่าที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะแข็งธัญพืชลูกเดือย (2.17 % area) ส่วนการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ปริมาณฟีนอลิกรวมและฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดถึงเช่าสีทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเหลว คือ 178.01±0.71 mgGE/gExt และ 91.00±0.95 mgQE/gExt ซึ่งสูงกว่าที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะแข็งธัญพืชลูกเดือย (135.48±0.60 mgGE/gExt และ 6.81±0.19 mgQE/gExt) ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ ABTS ของสารสกัดถึงเช่าสีทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเหลว มีค่า IC₅₀ เป็น 0.49±0.04 และ 0.06±0.00 mg/mL ซึ่งสูงกว่าที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะแข็งธัญพืชลูกเดือย (0.99±0.06 และ 0.22±0.01 mg/mL)

ผลจากการวิจัยครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่า สารสกัดถึงเช่าสีทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเหลว มีสารคอไรโดซีปีน และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดถึงเช่าสีทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะแข็งธัญพืชลูกเดือย ฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวมในสารสกัดทำหน้าที่เป็นสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

คำสำคัญ: ถึงเช่าสีทอง อาหารเพาะ องค์ประกอบทางเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The aims of this research were to analyze the chemical components and to determine antioxidant activity of the extracts from *Cordyceps militaris* cultured in liquid and Job's-tears solid media. Chemical components revealed using GC-MS revealed that 23 compounds were found in the extracts from *C. militaris* cultured in liquid medium, while 26 compounds were found in the extract from *C. militaris* cultured in Job's-tears solid medium. Cordycepin was a main chemical in both extracts. It constituted 20.57% of compounds found in the extracts from *C. militaris* cultured in liquid medium which was higher than that cultured in Job's-tears solid medium (2.17%). The total phenolic and flavonoid contents in the extract from *C. militaris* cultured in liquid medium were 178.01±0.71 mgGE/gExt and 91.00±0.95 mgQE/gExt, which were higher than those from the extract from *C. militaris* cultured in Job's-tears solid medium (135.48 ± 0.60 mgGE/gExt and 6.81±0.19 mgQE/gExt). The anti-oxidant activity determined using DPPH and ABTS assays showed that the extract from *C. militaris* cultured in liquid medium was more potent than that from the extract from *C. militaris* cultured in Job's-tears solid medium with IC₅₀ of 0.49±0.04 and 0.06±0.00, and 0.99±0.06 and 0.22±0.01 mg/mL, respectively.

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า อ.เมือง จ.นครนายก 26001

¹ Assist.Prof. Department of Environmental Science Academic Division, Chulachomkiao Royal Military Academy, Muang District, Nakhon Nayok, 26001, Thailand E-mail: yaowapar.to@crma.ac.th

The results indicate that the extract from *C. militaris* cultured in liquid medium possesses more cordycepin and better antioxidant activity. The active compounds, phenolic and flavonoid contents in the extracts are responsible for the antioxidant activity.

Keywords: *Cordyceps militaris*, cultured media, chemical components, antioxidant activity

บทนำ

ถั่งเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris*) เป็นราก่อโรคในแมลง จัดอยู่ในสกุล *Cordyceps* วงศ์ Clavicipitaceae เป็นเห็ดสำคัญชนิดหนึ่งในกลุ่มเห็ดเป็นยา (Medicinal mushroom) มีการกระจายแพร่หลายทั้งในอเมริกาเหนือ อเมริกาใต้ ยุโรป และเอเชีย¹ มีการนำถั่งเช่า (*Cordyceps*) มาใช้ในงานทางการแพทย์แผนโบราณ แพทย์พื้นบ้านในเอเชีย^{2,3} โดยเฉพาะในเอเชียตะวันออก⁴ มีการนำมาใช้เป็นยามาอย่างยาวนานนับศตวรรษ ทั้งในตำรับยาจีนและทิเบต^{5,6} ในเอเชียตะวันออกนิยมนำมาใช้ทั้งเป็นยา อาหารบำรุงกำลัง⁷ บริโภคโดยตรงในรูปของอาหาร และเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ

ถั่งเช่าสีทองได้รับความสนใจเป็นอย่างมากโดยเฉพาะ นำมาใช้เป็นอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ ทำให้มีอายุยืนยาว และใช้เป็นยาทางเลือกเพื่อบรรเทาโรคต่างๆ เช่น โรคหลอดเลือดสมอง เจ็บคอ วัณโรค โรคลมชัก และโรคมะเร็ง นอกจากนี้ มีการนำถั่งเช่าสีทองที่ได้จากการเพาะเลี้ยง มาทำเป็นยาเพื่อบำรุงรักษาการทำงานของไตและปอด ชะลอวัย ควบคุมการนอน รักษาโรคหลอดเลือดเรื้อรัง⁸ โรคที่เกี่ยวกับระบบหมุนเวียนเลือด ระบบหายใจ ต่อมต่างๆ และระบบเมตาโบลิซึม⁹

ถั่งเช่าสีทอง มีสารออกฤทธิ์ เช่น คอร์ดิเซปิน (cordycepin) อะดีโนซีน (adenosine) โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) เออร์โกสเตอรอล (ergosterol) แมนนิทอล (mannitol) เปปไทด์ (peptide)^{10,11,12,13} กรดแอมิโน (amino acid) กรดไขมัน (fatty acid)¹⁴ กรดไขมันไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acids) กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids) วิตามิน E (vitamin E) กรดอินทรีย์ (organic acids) และกรดซินนามิก (cinnamic acid)¹⁵

คอร์ดิเซปิน เป็นสารหลักที่ถูกสกัดออกมาได้เป็นครั้งแรกจากถั่งเช่าสีทอง ต่อมาได้พบในถั่งเช่าชิเบต (*Ophiocordyceps sinensis* ชื่อเดิม *C. sinensis*) ด้วย¹⁶ ถั่งเช่าสีทอง มีคอร์ดิเซปิน และอะดีโนซีนในปริมาณที่สูงกว่าถั่งเช่าชิเบต^{17,18} คอร์ดิเซปินในสารสกัดจากส่วนดอกมีปริมาณสูงกว่าจากส่วนเส้นใย¹⁹

สารออกฤทธิ์ที่พบในถั่งเช่าสีทอง มีฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด เช่น ฤทธิ์ต้านมะเร็ง (anti-cancer) ยับยั้งการสร้างเซลล์มะเร็ง^{16,20} ต้านการกระจายตัวของมะเร็ง (anti-metastatic)²¹ ยับยั้งการเจริญของมะเร็ง (inhibit cancer

growth)⁴ ต้านไวรัส (anti-viral) ต้านเชื้อรา (ant-ifungal) ต้านการอักเสบ (anti-inflammatory)²² ต้านการมีน้ำตาลในเลือดสูง (anti-hyperglycemic) ต้านเนื้องอก (anti-tumor)²³ และต้านจุลินทรีย์ (anti-microbial)^{24,25} คอร์ดิเซปินที่แยกได้จากถั่งเช่าสีทอง มีศักยภาพสูงในการยับยั้งการเจริญของพืช (plant growth inhibitor)²⁶ โพลีแซคคาไรด์ที่พบในถั่งเช่าสีทอง มีฤทธิ์ต้านมะเร็ง ปรับสมดุลของภูมิคุ้มกัน²⁷ และต้านอนุมูลอิสระ²⁸ โพลีแซคคาไรด์ที่แยกจากส่วนดอกถั่งเช่าสีทองที่ได้จากการเพาะเลี้ยง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลแมนโนส (mannose) กลูโคส (glucose) และกาแลคโตส (galactose) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยสามารถกำจัดอนุมูลอิสระ ลดอนุมูลอิสระ และจับกับไอออนของเหล็กได้²⁹ สารสกัดจากถั่งเช่าสีทองมีฤทธิ์ต้านการสร้างหลอดเลือด (anti-angiogenic)³⁰ ต้านการอักเสบ³¹ ต้านอนุมูลอิสระ (anti-oxidant)^{32,33} ต้านเนื้องอก^{34,35} ป้องกันการทำลายดีเอ็นเอ (DNA) และเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดและการยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระ²³ สารสกัดเมทานอลถั่งเช่าสีทองมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยยับยั้งขบวนการออกซิเดชันของไขมัน ลดและกำจัดอนุมูลอิสระ ยับยั้งเซลล์ก่อมะเร็ง และยังมีคุณสมบัติในการต้านจุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรียและรา^{15,7} สารสกัดเมทานอลจากส่วนดอก มีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าจากส่วนเส้นใย ขณะที่สารสกัดจากส่วนเส้นใย มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระโดยรวม และสามารถในการจับและลดอนุมูลอิสระสูงกว่าจากส่วนดอก⁷

ถั่งเช่าสีทองมีสารออกฤทธิ์และฤทธิ์ทางชีวภาพคล้ายกับถั่งเช่าชิเบต จึงมีการนำถั่งเช่าสีทองมาใช้แทนถั่งเช่าชิเบต³⁶ สารออกฤทธิ์จากถั่งเช่าสีทอง ได้รับการตรวจสอบ และได้รับการยอมรับว่ามีคุณประโยชน์อย่างยิ่งต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยเฉพาะคอร์ดิเซปิน ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงถั่งเช่าสีทองเพื่อการค้าอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเห็ด เพื่อรวบรวมเส้นใย และเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะแข็ง เพื่อผลิตส่วนดอก ทั้งนี้เพราะถั่งเช่าสีทองมีสารออกฤทธิ์ และมีฤทธิ์ทางชีวภาพหลายประการดังกล่าว จึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยา อาหาร และเครื่องสำอาง^{37,38}

ถั่งเช่าสีทองเป็นเห็ดเศรษฐกิจชนิดใหม่ของไทย มีการเพาะเลี้ยง ผลิตเป็นอาหารเสริมสุขภาพ จำหน่ายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ การวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดถั่งเช่าสีทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะต่างกัน คือ

อาหารเพาะเห็ดและอาหารเพาะเชื้อฟัซูลูกเดียว เพื่อเป็นแนวทางสำหรับพัฒนาการใช้ถั่งเช่าสีทองให้เกิดประโยชน์ และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ ในการใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

1. การเตรียมถั่งเช่าสีทอง นำถั่งเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris*)

จากฟาร์มครูปวง จ.อ่างทอง มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้น นำมาวางเพาะเลี้ยงบนอาหารฟัซูลูกเดียว (Potato Dextrose Agar: PDA) บ่มเชื้อในสภาวะมืด ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน จะได้แม่เชื้อ หรือเชื้อต้นตอ ทำการขยายเชื้อโดยการตัดแม่เชื้อบนอาหารฟัซูลูกเดียว ใส่ในอาหารเหลวฟัซูลูกเดียว (Potato Dextrose Broth: PDB) แล้วบ่มบนเครื่องเขย่า ที่ความเร็ว 120 รอบ/นาที ในที่มืด ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 วัน จะได้หัวเชื้อเห็ด นำหัวเชื้อเห็ดเลี้ยงในอาหารเพาะเห็ด (มีหน่อใหม่พันธุ์ไทยพื้นบ้าน (นางลายวัย 5) กลูโคส สารสกัดจากยีสต์ และเปปโตเน เป็นองค์ประกอบหลัก) และในอาหารเพาะเชื้อเมล็ดธัญพืชลูกเดียว ซึ่งมีองค์ประกอบเหมือนในอาหารเพาะเห็ด แต่เพิ่มเมล็ดธัญพืชลูกเดียวขวดละ 30 กรัมต่ออาหารเหลว 60 มิลลิลิตร (อ้างอิงจากปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต รร.จปร ปี 2556 เรื่อง การเปรียบเทียบเมล็ดธัญพืชที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงเส้นใยเชื้อ *Cordyceps militaris*. พบว่า เมื่อใช้เมล็ดธัญพืชเป็นแหล่งคาร์บอนในอาหารเพาะเลี้ยงพบการเจริญของเส้นใยเป็นตุ่มดอกและพัฒนาเป็นดอกได้ดีกว่าเมล็ดธัญพืชชนิดอื่น⁵⁵ และ งานวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบการเพาะเลี้ยงถั่งเช่าสีทองโดยใช้หัวเชื้อเห็ดและหัวเชื้อแข็งบนเมล็ดธัญพืชลูกเดียว ในปี 2558⁵⁶) บ่มเชื้อในสภาวะมืด ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% จนเส้นใยเจริญเต็มผิวหน้าอาหาร จากนั้นให้แสง 1000 ลักซ์ (12 ชม./วัน) ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เพื่อกระตุ้นให้เส้นใยเปลี่ยนสี เกิดตุ่มดอก และพัฒนาเป็นดอก เมื่อได้ดอกที่ยาวประมาณ 7-8 เซนติเมตร (ประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของขวดเพาะเลี้ยง) จึงเก็บส่วนดอกออกจากส่วนฐาน นำไปผึ่งลม 24 ชั่วโมง แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนาน 24 ชั่วโมง จะได้ถั่งเช่าสีทองของอบแห้ง เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท สะอาดแห้ง และมีฝาปิดสนิท

2. การเตรียมสารสกัดถั่งเช่าสีทอง

นำถั่งเช่าสีทองอบแห้ง มาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วบดเป็นผง จากนั้นนำไปสกัด โดยการหมักในตัวทำละลายเอทานอล 95% ในอัตราส่วนผงถั่งเช่าสีทอง 400 กรัม ต่อเอทานอล 1000 มิลลิลิตร หมักส่วนผสมทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ นำส่วนผสมมากรองเพื่อแยกเอาส่วนที่เป็นกากออกด้วยกระดาษกรอง

Whatman เบอร์ 1 นำส่วนที่กรองได้มาระเหยเพื่อเอาตัวทำละลายออกด้วยเครื่อง Rotary evaporator จนกระทั่งได้สารสกัดหยาบ (Crude extract) นำสารสกัดที่ได้บรรจุในขวดทึบแสง เก็บไว้ในตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography - Mass Spectrometer (GC-MS) โดยใช้แก๊สฮีเลียมเป็นตัวพา คอลัมน์ที่ใช้คือ Bruker รุ่น 450 GC Rtx-5MS capillary column (30 m x 0.25 mm x 0.25 μ m) อัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/นาที มีอุณหภูมิเริ่มต้นของคอลัมน์ที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 4.5 องศาเซลเซียส/นาที จนถึง 250 องศาเซลเซียส แล้วจึงฉีดสารทดสอบ ในส่วน Mass Spectrometer อุณหภูมิแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน เป็น 230 องศาเซลเซียส อุณหภูมิส่วนตัดแยกเป็น 150 องศาเซลเซียส มีพลังงานของอิเล็กตรอนที่วิ่งชนโมเลกุลของสารเท่ากับ 70 eV นำข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบกับข้อมูลใน National Institute of Standards and Technology (NIST) Mass Spectral Library 2008 ตรวจวิเคราะห์ ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

4. การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมและฟลาโวนอยด์รวม และวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันโดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging assay (DPPH assay) และวิธี 2,2'-azino-bis(3-ethyl benzothiazoline-6-sulfonic acid) cation radical scavenging assay (ABTS assay) ดังต่อไปนี้

4.1 การหาปริมาณฟีนอลิกรวม นำสารตัวอย่างหรือสารมาตรฐานปริมาตร 100 ไมโครลิตร เติมด้วยสารละลาย 10% Folin-Ciocalteu reagent (v/v) ปริมาตร 500 ไมโครลิตร เขย่า และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 นาที แล้วเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 7.5% (w/v) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร เขย่า และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ในที่มืดประมาณ 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectro-photometer ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ทำการทดลอง 5 ซ้ำ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน โดยใช้กรดแกลลิก (Gallic acid) เป็นสารมาตรฐาน รายงานผลเป็นหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก ต่อน้ำหนักสารสกัดแห้ง 1 กรัม (Gallic acid equivalents, mg GAE/g dried extract)³⁹

4.2 การหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวม นำสารตัวอย่าง หรือสารมาตรฐานปริมาตร 100 ไมโครลิตร มาเติมด้วยสารละลาย 5% NaNO_2 (w/v) ปริมาตร 500 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที เติมสารละลาย 10% AlCl_3 (w/v) ปริมาตร 400 ไมโครลิตร ลงไป เขย่าให้เข้ากัน แล้วเติมน้ำกลั่น 2,000 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ซ้ำ นำผลที่ได้เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ซึ่งมีเคอร์ซีติน (Quercetin) เป็นสารมาตรฐาน รายงานผลที่ได้เป็นหน่วย มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีตินต่อน้ำหนักสารสกัดแห้ง 1 กรัม (Quercetin equivalents, mgQE/g dried extract) ⁴⁰

4.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันโดยวิธี DPPH assay นำสารตัวอย่างหรือสารมาตรฐาน 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 900 ไมโครลิตรลงไป เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ในที่มืดนาน 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer บันทึกค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (% Inhibition) แล้วเทียบกับสารที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน คือ Ascorbic acid และ Trolox

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (% Inhibition) จากสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = (A - B) / A \times 100$$

โดย A = ค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม (สารทั้งหมดยกเว้นสารตัวอย่าง)

B = ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

จากนั้น คำนวณค่า IC_{50} จากกราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเกิดออกซิเดชันกับสารตัวอย่างในแต่ละความเข้มข้น โดยใช้สมการเส้นตรง $Y=aX+b$ รายงานผลเป็นค่า IC_{50} (50% Inhibitory concentration)

4.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันโดยวิธี ABTS assay เตรียมสารละลาย ABTS ด้วยการเปลี่ยน ABTS ให้เป็นอนุมูลอิสระ ABTS^{•+} โดยการเติมสารละลาย $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ แล้วปล่อยให้มืดเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ทำการเจือจางสารละลาย ABTS^{•+} ด้วยน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1: 50 จากนั้นนำสารสกัดตัวอย่างมาปริมาตร 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย ABTS^{•+} ที่เจือจาง ปริมาตร 900 ไมโครลิตร ลงไป ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที

แล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่จางลงของอนุมูลอิสระ ABTS^{•+} ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer จากนั้นนำค่าที่วัดได้ไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน รายงานผลเป็นค่า IC_{50} แล้วเทียบกับสารที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน คือ Ascorbic acid และ Trolox (การคำนวณกระทำเช่นเดียวกับวิธี DPPH assay) ⁴²

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (mean±SEM) ของการทดลองละ 5 ซ้ำ ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way analysis of variance ; One-way ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง และแต่ละความเข้มข้นด้วยวิธี Duncan multiple range test ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ ที่ p-value<0.05 การคำนวณค่าสถิติ และหาความสัมพันธ์ของข้อมูลใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. องค์ประกอบทางเคมี การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง GC-MS พบว่า สารสกัดถึงเข้าสู่ห้องที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเห็ด มีสารทั้งหมด 23 ชนิด (Figure 1 และ Table 1) สารสกัดถึงเข้าสู่ห้องที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเชื้อขี้หนูขลุ่ยเตื่อย มีสารทั้งหมด 26 ชนิด (Figure 2 และ Table 2)

พบสารซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่เหมือนกันในสารสกัดถึงเข้าสู่ห้องทั้งสองชนิดนี้ จำนวน 16 ชนิด ได้แก่ uric acid, pyrrolo [1,2-a] pyrazine-1,4-dione, hexahydro-, lidocaine, n-hexa decanoic acid, hexadecanoic acid, ethyl ester, 9-octadecanoic acid (Z) -, octadecanoic acid, ethyl ester, 2 propenoic acid, 2-dimethyl amino) ethyl ester, glycerol beta-palmitate, cordycepin, beta-mono linolein, dehydroergosterol 3,5-dinitro benzoate, anthiaergostan - 5, 7, 9, 16, 22 - penten, ergosta-5,7,9 (11), 22 - tetraen - 3 -ol, (3 beta, 22E, 24S) -, ergosta - 5, 8, 22-trien-3-ol, (3 beta, 22E) และ ergosterol

สารที่พบเฉพาะในสารสกัดถึงเข้าสู่ห้องที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเห็ด มี 7 ชนิด ได้แก่ 5-thiazoleethanol, 4-methyl-, ethyl pentadecanoate, pyrrolo [1,2-a] pyrazine-1, 4-dione, hexahydro-3- (2-methyl propyl) -, eicosanoic acid, ethyl ester, linoleic acid, methyl linolealidate และ (E) -9-octadecanoic acid ethyl ester

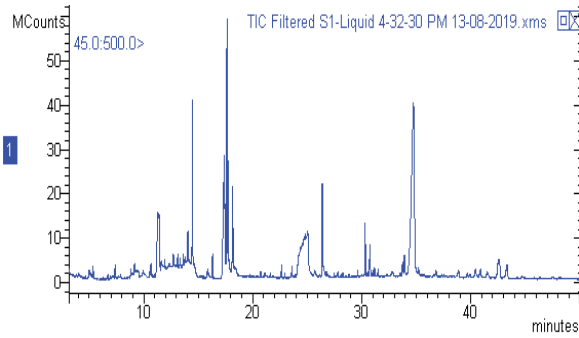


Figure 1 Chromatogram of extract from *C. militaris* cultured in liquid media

สารที่พบเฉพาะในสารสกัดถึงเชื้อสืทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะแข็งเมล็ดธัญพืชลูกเดียว มี 10 ชนิด ได้แก่ 3-pyridine carboxamide, tetradecanoic acid, pentadecanoic acid, 5,10-diethoxy - 2, 3, 7, 8-tetrahydro-1H, 6H-dipyrrolo [1,2-a ; 1', 2'-d] pyrazine, 9-tetradecen-1-ol, acetate, (E)-11,14-eicosadienoic acid methyl ester, 9,12-octadecadienal, octadecanoic acid และ 7,11-hexadecadienal

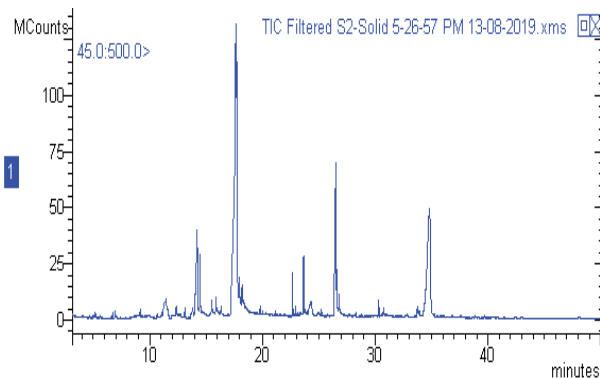


Figure 2 Chromatogram of extract from *C. militaris* cultured in Job's tears solid media

การพบคอร์ไดซิปีนในสารสกัดทั้งสองชนิดในการวิจัยครั้งนี้ สอดคล้องกับรายงานการวิจัยที่ผ่านมา ที่พบคอร์ไดซิปีน เป็นองค์ประกอบหลักในส่วนต่างๆ ของถึงเชื้อสืทอง และในสารสกัดของถึงเชื้อสืทอง รวมทั้งเห็ดเป็นยาหลายชนิด 10,11,12,19,16, 20,43,13,44,9, 26 หากพิจารณาจาก % area ปริมาณของคอร์ไดซิปีนในสารสกัดถึงเชื้อสืทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเหลว มีปริมาณมากกว่าที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะแข็งเมล็ดธัญพืชลูกเดียว คือ 20.57% (Table 1) และ 2.17% (Table 2) ตามลำดับ

มีรายการพบสารสำคัญ หรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพบางชนิดในถึงเชื้อสืทองแตกต่างกัน เช่น เมื่อนำถึงเชื้อ

สืทองมาเพาะเลี้ยง แล้วทำการแยกหาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พบสารทั้งหมด 9 ชนิด ได้แก่ สารกลุ่ม 10-membered macrolides สาร cepharosporolide C สาร cepharosporolides E สาร cepharosporolides F สาร 2-carboxymethyl-4-(3'-hydroxybutyl) furan สาร cordycepin และสาร pyridine-2, 6-dicarboxylic acid¹³ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถึงเชื้อสืทองที่ได้จากการเพาะเลี้ยง โดยใช้วิธี GC-MS พบสารทั้งหมดจำนวน 39 ชนิด ซึ่งเป็นพวกนิวคลีโอไทด์ คาร์โบไฮเดรต และกรดอะมิโน³⁸ เห็ดที่มีอยู่ในเห็ดธรรมชาติ และเห็ดที่ได้จากการเพาะเลี้ยง มีนิวคลีโอไทด์แตกต่างกัน และความแตกต่างนี้ยังขึ้นอยู่กับส่วนของเห็ดที่นำมาวิเคราะห์⁴⁵ และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถึงเชื้อสืทองที่ได้จากการเพาะเลี้ยง โดยใช้วิธี GC-MS พบว่า คอร์ไดซิปีน มีปริมาณมากที่สุดในระยะที่ 4 (aging period)³⁸ และ คอร์ไดซิปีน และอะดีโนซีน มีปริมาณมากที่สุดในส่วนดอกถึงเชื้อสืทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเมล็ดข้าว (rice medium) เมื่อเทียบกับที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะหนอนไหม (silkworm chrysalis medium) และข้าวสาลี (wheat medium) ตามลำดับ¹⁸

เป็นที่น่าสังเกตว่า ในการวิจัยครั้งนี้ สารที่พบในสารสกัดจากถึงเชื้อสืทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะแข็งเมล็ดธัญพืชลูกเดียว ส่วนหนึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่พบในลูกเดียว ซึ่งเป็นไขมัน โพลีฟีนอล ไฟโตสเตอรอล^{46,47,48} จึงเป็นไปได้ว่า สารที่พบในถึงเชื้อสืทอง ส่วนหนึ่งได้รับมาจากส่วนประกอบในอาหารเพาะ ดังเคยมีรายงานว่า อาหารเพาะมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อการสะสมสารออกฤทธิ์^{49,50}

การวิจัยครั้งนี้พบสารแตกต่างกันเมื่อเพาะเลี้ยงถึงเชื้อสืทองในอาหารเพาะที่แตกต่างกัน ซึ่งให้เห็นว่า อาหารเพาะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อชนิดของสารที่เป็นองค์ประกอบในถึงเชื้อสืทอง จึงอาจกล่าวได้ว่า การพบสารในถึงเชื้อสืทองแตกต่างกัน เป็นผลมาจาก วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ แหล่งที่มาของถึงเชื้อสืทอง ส่วนของถึงเชื้อสืทองที่นำมาวิเคราะห์ อาหารเพาะที่ใช้เพาะเลี้ยง และระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิตเป็นต้น

2.ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

2.1 การหาปริมาณฟีนอลิกรวม พบว่า สารสกัดจาก

ถึงเชื้อสืทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเหลว มีปริมาณฟีนอลิกรวมสูงกว่าสารสกัดจากถึงเชื้อสืทองที่เลี้ยงในอาหารเพาะแข็งเมล็ดธัญพืชลูกเดียว ($p < 0.05$) คือ 178.01 ± 0.71 และ 135.48 ± 0.60 mgGE/gEtX ตามลำดับ (Table 3)

Table 1 Chemical components of the extract from *C. militaris* cultured in liquid media

No	RT (min)	Peak Name	Area	%Area	%Prob
1	5.368	5-Thiazole ethanol, 4 methyl-	6.22E+06	0.27	93.0
2	10.670	Uric acid	6.84E+06	0.30	29.3
3	11.317	Pyrrolo[1,2-a]pyrazine-1,4-dione, hexahydro-	1.83E+08	7.96	82.4
4	12.723	Ethyl pentadecanoate	6.66E+06	0.29	45.7
5	13.124	Lidocaine	6.91E+06	0.30	21.8
6	13.638	Pyrrolo[1,2-a]pyrazine-1,4-dione, hexahydro-3-(2-methylpropyl) -	1.15E+07	0.50	75.1
7	14.056	n-Hexadecanoic acid	2.68E+07	1.17	58.2
8	14.476	Hexadecanoic acid, ethyl ester	1.11E+08	4.85	50.3
9	15.867	9-Octadecanoic acid (z) -	7.83E+06	0.34	22.1
10	16.312	Eicosanoic acid, ethyl ester	1.53E+07	0.67	23.3
11	17.383	Linoleic acid	1.93E+08	8.39	12.1
12	17.634	Methyl linolelaidate	1.89E+08	8.24	12.0
13	17.720	(E) -9-Octadecenoic acid ethyl ester	8.65E+07	3.77	30.9
14	18.168	Octadecanoic acid, ethyl ester	5.66E+07	2.46	42.1
15	22.638	2-Propenoic acid, 2-(dimethylamino) ethyl ester	8.06E+06	0.35	12.2
16	23.586	Glycerol beta-palmitate	8.17E+06	0.36	51.2
17	25.004	Cordycepin	4.73E+08	20.57	56.8
18	26.385	beta-Monolinolein	8.37E+07	3.64	19.2
19	30.313	Dehydroergosterol 3,5-dinitrobenzoate	3.95E+07	1.72	58.3
20	30.740	Anthiaergostan-5,7,9,16,22-penten	2.75E+07	1.20	58.6
21	33.738	Ergosta-5,7,9(11),22-tetraen-3-ol, (3beta,22E,24S) -	1.68E+07	0.73	48.4
22	33.917	Ergosta-5,8,22-trien-3-ol, (3.beta.,22E)	2.41E+07	1.05	16.3
23	34.749	Ergosterol	7.09E+08	30.87	66.0
Total			2.30E+09	100.00	

Table 2 Chemical components of the extract from *C. militaris* cultured in Job's Tear solid media

No	RT (min)	Peak Name	Area	%Area
1	6.916	3-Pyridine carboxamide	1.37E+07	0.36
2	10.669	Uric acid	6.21E+06	0.16
3	11.067	Tetradecanoic acid	3.49E+06	0.09
4	11.429	Pyrrolo[1,2-a]pyrazine-1,4-dione, hexahydro-	1.52E+08	4.03
5	12.362	Pentadecanoic acid	9.35E+06	0.25
6	13.123	Lidocaine	1.19E+07	0.31
7	13.819	5,10-Diethoxy-2,3,7,8-tetrahydro-1H,6H-dipyrrolo[1,2-a ; 1', 2'-d] pyrazine	3.26E+07	0.86
8	14.226	n-Hexadecanoic acid	2.93E+08	7.76
9	14.480	Hexadecanoic acid, ethyl ester	7.05E+07	1.86
10	15.513	9-Tetradecen-1-ol, acetate, (E) -	2.19E+07	0.58
11	15.888	9-Octadecanoic acid (z) -	2.46E+07	0.65
12	17.642	11,14-Eicosadienoic acid, methyl ester	6.82E+08	18.06
13	17.726	9,12-Octadecadienal	6.09E+08	16.12
14	17.972	Octadecanoic acid	3.41E+07	0.90
15	18.197	Octadecanoic acid, ethyl ester	2.41E+07	0.64
16	22.672	2-Propenoic acid, 2-(dimethylamino) ethyl ester	5.64E+07	1.49
17	23.653	Glycerol beta-palmitate	8.95E+07	2.37
18	24.308	Cordycepin	8.19E+07	2.17
19	26.501	beta-Monolinolein	4.28E+08	11.33
20	26.596	7,11-Hexadecadienal	8.46E+07	2.24
21	26.802	Glycerol 1-monostearate	2.06E+07	0.55
22	30.316	Dehydroergosterol 3,5-dinitrobenzoate	2.56E+07	0.68
23	30.740	Anthiaergostan-5,7,9,16,22-penten	1.34E+07	0.35
24	33.762	Ergosta-5,7,9(11),22-tetraen-3-ol, (3beta,22E,24S) -	2.69E+07	0.71
25	33.921	Ergosta-5,8,22-trien-3-ol, (3.beta.,22E)	1.24E+07	0.33
26	34.792	Ergosterol	9.50E+08	25.15
Total			3.78E+09	100.00

Table 3 Anti-oxidant activity of extracts from *C. militaris* cultured in liquid and Job's Tear solid media

Samples	Total Phenolic Content (mgGE/gExt)	Total Flavonoid Content (mgQE/gExt)	DPPH assay IC ₅₀ (mg/mL)	ABTS assay IC ₅₀ (mg/mL)
CMELM	178.01±0.71 ^b	91.00±0.95 ^b	0.49±0.04 ^c	0.06±0.00 ^c
CMEJTSM	135.48±0.60 ^a	6.81±0.19 ^a	0.99±0.06 ^d	0.22±0.01 ^d
Ascorbic acid	-	-	0.004±0.0002 ^a	0.007±0.0001 ^a
Trolox	-	-	0.016±0.0012 ^b	0.016±0.0003 ^b

Mean ± SEM in the same column with the different superscripts were significantly different (p<0.05)

(CMELM = extract from *C. militaris* cultured in liquid medium, CME JTSM = extract from *C. militaris* cultured in Job's tear solid medium)

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) ซึ่งประกอบด้วย phenolic acids, oxidized polyphenols, hydroxybenzoic acids, flavonoids, tannins, hydroxycinnamic acids, stilbenes และ lignans ที่พบในเห็ดและในสารสกัดเห็ดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยทำหน้าที่สลายเอนไซม์ peroxidase ทำให้โลหะอยู่ในภาวะที่ไม่สามารถทำงานได้ และยังกำจัดออกซิเจน หรือยับยั้งอนุมูลอิสระได้⁵¹ โพลีฟีนอลที่พบในเห็ดถึงเข้าสู่ทอง ก็ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ⁵²

การพบสารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดจากถึงเข้าสู่ทองในงานวิจัยครั้งนี้ สอดคล้องกับการพบกรดซีเบนโซอิก (p-hydroxy benzoic acid) ซึ่งเป็นพวกกรดฟีนอลิก ชนิดเดียวที่พบในเห็ดชนิดนี้¹⁵ ซึ่งให้เห็นว่า สามารถนำสารสกัดถึงเข้าสู่ทองมาใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ แต่เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดถึงเข้าสู่ทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเหลวนั้น มีปริมาณมากกว่าในสารสกัดถึงเข้าสู่ทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะแข็งธัญพืชลูกเดียว ทำให้สารสกัดถึงเข้าสู่ทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเหลวนั้นมีแนวโน้มในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าสารสกัดถึงเข้าสู่ทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะแข็งธัญพืชลูกเดียว

2.2 การหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวม พบว่าสารสกัดจากถึงเข้าสู่ทองที่เลี้ยงในอาหารเพาะเหลวนั้น มีปริมาณ ฟลาโวนอยด์รวมสูงกว่าสารสกัดจากถึงเข้าสู่ทองที่เลี้ยงในอาหารเพาะแข็งธัญพืชลูกเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) คือ 91.00± 0.95 และ 6.81± 0.19 mgQE/gExt ตามลำดับ (Table 3)

ปกติจะพบฟลาโวนอยด์ในพืช หรือถูกหลั่งออกมาจากพืช อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่า มีฟลาโวนอยด์ในพวกเห็ด ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่า เห็ดเหล่านี้มีการดูดซึมสารอาหารและสารประกอบต่างๆ จากวัตถุดิบที่เห็ดเหล่านี้เจริญอยู่ และมีรายงานว่า สารประกอบฟลาโวนอยด์ในถึงเข้าสู่ทองมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ⁵² การพบฟลาโวนอยด์รวมในสารสกัดถึงเข้าสู่ทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะทั้งสองชนิด แต่สารสกัดถึงเข้าสู่ทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเหลวนั้น มีปริมาณฟลาโวนอยด์

รวมมากกว่าสารสกัดถึงเข้าสู่ทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะแข็งธัญพืชลูกเดียว ทำให้สารสกัดถึงเข้าสู่ทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเหลวนั้น มีแนวโน้มในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าสารสกัดถึงเข้าสู่ทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะแข็งธัญพืชลูกเดียว

2.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน โดยใช้วิธี DPPH assay พบว่า สารสกัดถึงเข้าสู่ทองที่เลี้ยงในอาหารเพาะเหลวนั้น มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน สูงกว่าสารสกัดถึงเข้าสู่ทองที่เลี้ยงในอาหารเพาะแข็งธัญพืชลูกเดียว โดยมีค่า IC₅₀ เป็น 0.49±0.04 และ 0.99±0.06 mg/ml ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม สารสกัดทั้งสองชนิดนี้มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้น้อยกว่า Ascorbic acid (IC₅₀ = 0.004±0.0002 mg/ml) และ Trolox (IC₅₀ = 0.016±0.0012 mg/ml) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (Table 3) เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้ใช้เอทานอล 95% เป็นตัวทำละลายในการสกัด จึงกล่าวได้ว่า สารสกัดเอทานอลของถึงเข้าสู่ทอง มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สอดคล้องกับรายงานวิจัยที่พบว่า สารสกัดเมทานอลของถึงเข้าสู่ทอง มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH assay⁵³ นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่า สารสกัดน้ำถึงเข้าสู่ทองมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด เมื่อเทียบกับสารสกัดที่ใช้สารละลายอื่นเป็นตัวทำละลาย⁴⁹ และส่วนดอกถึงเข้าสู่ทอง มีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าส่วนเส้นใย⁷

2.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งออกซิเดชัน โดยใช้วิธี ABTS assay พบว่า สารสกัดถึงเข้าสู่ทองที่เลี้ยงในอาหารเพาะเหลวนั้น มีความสามารถในการยับยั้งออกซิเดชัน สูงกว่าสารสกัดถึงเข้าสู่ทองที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะแข็งธัญพืชลูกเดียว โดยมีค่า IC₅₀ เป็น 0.06±0.00 และ 0.22±0.01 mg/mL ตามลำดับ แต่สารสกัดทั้งสอง มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่า Ascorbic acid และ Trolox อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ซึ่งมีค่า IC₅₀ เป็น 0.007±0.0001 และ 0.016±0.0003 mg/mL ตามลำดับ (Table 3)

มีรายงานว่า สารสกัดตั้งเชื้อสาหร่ายสามารถกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS•+ และลดอนุมูลอิสระได้ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดตั้งเชื้อสาหร่ายมีความสามารถในการเป็นตัวให้อิโตรเจน (hydrogen donators) ⁵²

คอร์ไดเซ็ปิน และอะดีโนซีน ในตั้งเชื้อสาหร่ายมีฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี Trolox equivalent antioxidant capacity method) สารประกอบโพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และโพลีแซคคาไรด์ในตั้งเชื้อสาหร่าย ก็ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ⁵² ส่วนดอกของตั้งเชื้อสาหร่าย มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยมีศักยภาพสูงในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ขณะที่ส่วนเส้นใยมีฤทธิ์สูงในการต้านอนุมูลอิสระโดยรวม และมีความสามารถสูงในการจับและการลดอนุมูลอิสระ แสดงให้เห็นว่าแต่ละส่วนของตั้งเชื้อสาหร่ายมีหน้าที่ และกลไกในการออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระต่างกัน⁷ ตั้งเชื้อสาหร่ายจากการเพาะเลี้ยงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง โดยฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระนี้ ส่วนหนึ่งเกิดจากโพลีแซคคาไรด์ในส่วนเส้นใย⁵⁴ และแนวโน้มในการกำจัดและลดอนุมูลอิสระของสารสกัดตั้งเชื้อสาหร่าย ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารสกัด⁵²

ผลการวิจัยในครั้งนี้ สารสกัดจากตั้งเชื้อสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเห็ด มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดตั้งเชื้อสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารเพาะเชื้อขี้ขลุ่ยเพียงดียว ดังนั้น อาหารเพาะจึงเป็นปัจจัยหนึ่งในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

กล่าวโดยรวม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตั้งเชื้อสาหร่ายขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ชนิด และปริมาณของสารออกฤทธิ์ ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ ส่วนของตั้งเชื้อสาหร่ายที่นำมาวิเคราะห์ และอาหารเพาะ เป็นต้น

สรุปผลการทดลอง

สารสกัดตั้งเชื้อสาหร่าย มีคอร์ไดเซ็ปินเป็นสารหลัก สารสกัดตั้งเชื้อสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะต่างกัน มีองค์ประกอบทางเคมีส่วนหนึ่งต่างกัน และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่างกัน สารสกัดตั้งเชื้อสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเห็ด มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดตั้งเชื้อสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเชื้อขี้ขลุ่ยเพียงดียว สารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ที่พบในสารสกัด ทำหน้าที่เป็นสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยการเป็นตัวให้อิโตรเจน และสารสกัดตั้งเชื้อสาหร่ายสามารถเป็นแหล่งธรรมชาติของสารต้านอนุมูลอิสระ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อย พระจุลจอมเกล้า ปี พ.ศ. 2558 ในการสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Mains EB. North American Entomogenous species of *Cordyceps*. Mycologia: 1958 ; 169-222.
2. Hur H. Chemical ingredients of *Cordyceps militaris*. Microbiol 2008 ; 36(4) : 233-235.
3. Sung GH, Hywel-Jones NL, Sung JM, Luangsa-ard JJ, Shrestha B, Spatafora JW. Phylogenetic classification of *Cordyceps* and the Clavicipitaceous fungi. Stud Mycol 2007 ; 57: 5-59.
4. Park JG, Son YJ, Lee TH, Baek NJ, Yoon DH, Kim TW, Aravinthan A, Hong S, Kim JH, Sung GH, Cho JY. Anticancer efficacy of *Cordyceps militaris* ethanol extract in a xenografted leukemia model, Hindawi Evidence-Based Complem Alt Med 2017. [https://DOI.org/10.1155/2017/8474703](https://doi.org/10.1155/2017/8474703).
5. Gui ZZ, Zhu YH. Advance on cultivation, bioactive compound and pharmacological mechanism of *Cordyceps militaris*. Sci Seri 2008 ; 34: 178-184.
6. Zheng P, Xia Y, Xiao G, Xiong C, Hu X, Zhang S, Zheng H, Huang Y, Zhou Y, Wang S *et al*. Genome sequence of the insect pathogenic fungus *Cordyceps militaris*, a valued traditional Chinese medicine. Genome Biol 2011 ; (12) : 116.
7. Dong CH, Yang T, Lian T. A Comparative study of the antimicrobial, antioxidant, and cytotoxic activities of methanol extracts from fruit bodies and fermented mycelia of caterpillar medicinal mushroom *Cordyceps militaris* (Ascomycetes). Int J Med Mushrooms 2014 ; 16(5) : 485-495 DOI: 10.1615/Int J Med Mushrooms.v16.i5.70
8. Dai JJ, Fan T, Wu CH, Xiao LZ, Tian SF. Summarization of the study on the artificial cultivation of *Cordyceps militaris* Link. J Anhui Agric Sci 2007 ; 35: 5469-5471.
9. Paterson R. *Cordyceps*: a traditional Chinese medicine and another fungal therapeutic biofactory. Phytochem 2008 ; 69: 1469-1495.
10. Cui J.D. Biotechnological production and applications of *Cordyceps militaris*, a valued traditional Chinese medicine. Crit Rev Biotechnol 2014 ; 35: 475-484.
11. Mizuno T. Medicinal effects and utilization of *Cordyceps* (Fr.) Link (Ascomycetes) and *Isaria* Fr. (Mitosporic Fungi) Chinese caterpillar fungi, "Tochukaso" (Review). Int J Med Mushroom 1999 ; 1: 251-261.

12. Ng TB, Wang HX. Pharmacological actions of Cordyceps, a prized folk medicine. *J Pharm Pharmacol* 2005 ; 57: 1509- 1519.
13. Rukachaisirikul V, Pramjit S, Pakawatchai C, Isaka M, Supothina S. 10-Membered macrolides from the insect pathogenic fungus *Cordyceps militaris* BCC 2816. *J Nat Prod* 2004 ; 67: 1953-1955.
14. Hur H. Chemical ingredients of *Cordyceps militaris* *Microbiol* 2008 ; 36(4) : 233-235.
15. Reis FS, Barros L, Calhelha RC, Cirić A, van Griensven LJ, Soković M, Ferreira IC. The methanolic extract of *Cordyceps militaris* (L.) Link fruiting body shows antioxidant, antibacterial, antifungal and antihuman tumor cell lines properties. *Food Chem Toxicol* 2013 ; 62: 91-8. DOI: 10.1016/j.fct.2013.08.033.
16. Cunningham KG, Hutchinson SA, Manson W, Spring FS. Cordycepin, a metabolic product from cultures of *Cordyceps militaris* (Linn.) Link. Part I. Isolation and characterization. *J Chem Soc* 1951 ; 2299–3200.
17. Yu HM, Wan BS, Huang SC, Duh PD. Comparison of protective effects between cultured *Cordyceps militaris* and natural *Cordyceps sinensis* against oxidative damage. *J Agric Food Chem* 2006 ; 54: 3132-3138.
18. Huang L, Li Q, Chen Y, Wang X, Zhou X. Determination and analysis of cordycepin and adenosine in the products of *Cordyceps* spp. *Afri J Microbiol Res* 2009 ; 3 (12) : 957-961. <http://www.academicjournals.org/ajmr>
19. Chou SM, Lai WJ, Hong TW, Lai JY, Tsai SH, Chen YH, Yu SH, Kao CH, Chu R, Ding ST, Li TK, Shen TL. Synergistic property of cordycepin in cultivated *Cordyceps militaris*-mediated apoptosis in human leukemia cells. *Phytomed* 2014 ; 21: 1516-1524.
20. Ahn YJ, Park SJ, Lee SG, Shin SC, Choi DH. Cordycepin: selective growth inhibitor derived from liquid culture of *Cordyceps militaris* against *Clostridium* spp. *J Agric Food Chem* 2002 ; 48: 2744-2748.
21. Nakamura K, Shinozuka K, Yoshikawa N. Anticancer and antimetastatic effects of cordycepin, an active component of *Cordyceps sinensis*. *J Pharmacol Sci* 2015 ; 127: 53-56.
22. Jo WS, Choi YJ, Kim HJ, Lee JY, Nam BH, Lee JD, Lee SW, Seo SY, Jeong MH. The anti-inflammatory effects of water extract from *Cordyceps militaris* in murine macrophage. *Mycobiol* 2010 ; 38(1) : 46-51. DOI: 10.4489/MYCO.2010.38.1.046.
23. Jeong MH, Park YS, Jeong DH, Lee CG, Kim JS, Oh SJ, JeongSK, Yang K, Jo WS. In vitro evaluation of *Cordyceps militaris* as a potential radioprotective agent. *Int J Molec Med* 2014 ; 34: 1349-1357. DOI: 10.3892/ijmm.2014.1901
24. Tuli HS, Sharma AK, Sandhu SS, Kashyap D. Cordycepin: a bioactive metabolite with therapeutic potential. *Life Sci* 2013 ; 93: 863-869.
25. Shrestha B, Zhang W, Zhang Y, Liu X. The medicinal fungus *Cordyceps militaris*: research and development. *Mycol Prog* 2012 ; 11: 599-614.
26. Quy TN, Xuan TD, Andriana Y, Tran HD, Khanh TD, Teschke R. Cordycepin Isolated from *Cordyceps militaris*: Its newly discovered herbicidal property and potential plant-based novel alternative to glyphosate. *Molec* 2019 ; 24: 2901. DOI: 10.3390/molecules24162901 www.mdpi.com/journal/molecules
27. Wasser SP. Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides. *Appl Microbiol Biotechnol* 2002 ; 60: 258-274.
28. Liu F, Ooi VEC, Chang ST. Free radical scavenging activities of mushroom polysaccharide extracts. *Life Sci* 1997 ; 60: 763-771.
29. Wu F, Yan H, Ma X, Jia J, Zhang G, Guo X, Gui Z. Structural characterization and antioxidant activity of purified polysaccharide from cultured *Cordyceps militaris*. *Afr J Microbiol Res* 2011 ; 5(18) : 2743-2751. <http://www.academicjournals.org/ajmr> DOI: 10.5897/AJMR11.548
30. Yoo HS, Shin JW, Cho JH, *et al.* Effects of *Cordyceps militaris* extract on angiogenesis and tumor growth. *Acta Pharmacol Sin* 2004 ; 25: 657-665.
31. Won SY, Park EH. Anti-inflammatory and related pharmacological activities of cultured mycelia and fruiting bodies of *Cordyceps militaris*. *J Ethnopharmacol* 2005 ; 96: 555-561.

32. Yu HM, Wang BS, Huang SC, Duh PD. Comparison of protective effects between cultured *Cordyceps militaris* and natural *Cordyceps sinensis* against oxidative damage. *J Agric Food Chem* 2006 ; 54: 3132-3138.
33. Chen C, Luo SS, Li Y, Sun YJ, Zhang CK. Study on antioxidant activity of three *Cordyceps* sp. by chemiluminescence. *Shanghai J Trad Chinese Med* 2004 ; 38: 53-55.
34. Wu WC, Hsiao JR, Lian YY, Lin CY, Huang BM. The apoptotic effect of cordycepin on human OEC-M1 oral cancer cell line. *Cancer Chemother Pharmacol* 2007 ; 60: 103-111.
35. Lin YW, Chiang BH. Anti-tumor activity of the fermentation broth of *Cordyceps militaris* cultured in the medium of *Radix astragali*. *Proc Biochim* 2008 ; 43: 244-250.
36. Wei HP, Xiao B, Hu KZ. Pharmaceutical values of *Cordyceps militaris*. *J Chin Med Mater* 2004 ; 27: 215-217.
37. Patel KJ, Ingalhalli RS. *Cordyceps militaris* (L.: Fr.) Link - An important medicinal mushroom. *J Pharmacog Phytochem* 2013 ; 2: 315. www.phytojournal.com
38. Oh J, Yoon DH, Shrestha B, Choi HK, Sung GH. Metabolomic profiling reveals enrichment of cordycepin in senescence- process of *Cordyceps militaris* fruit bodies. *J Microbiol* 2019 ; 57(1) : 54-63. DOI: 10.1007/s12275-019-8486-z
39. Singleton VL, Orthofer RLR. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzym* 1999 ; 299: 152-178.
40. Chang C, Yang M, Wen HCJ. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *J Food Drug Anal* 2002 ; 10: 178-182.
41. Ursini F, Maiorino M, Morazzoni P, Roveri A PG. A novel antioxidant flavonoid (IdB 1031) affecting molecular mechanisms of cellular activation. *Free Radic Biol Med* 1994 ; 16: 547-553.
42. Lee HL, Halliwell B. Oxidation and generation of hydrogen peroxide by thiol compounds in commonly used cell culture media. *Biochem Biophys Res Commun* 2001 ; 286: 991-994.
43. Guo C, Zhu J, Zhang C, Zhang LJ. Determination of adenosine and 3'-deoxyadenosine in *Cordyceps militaris* (L.) Link. by HPLC. *J Chinese Med* 1998 ; 23: 236-237.
44. Jung EC, Kim KD, Bai CH, Kim JC, Kim DK, Kim HH. A mushroom lectin from ascomycete *Cordyceps militaris*. *Biochem Biophys Acta Gen Subj* 2007 ; 1770: 833-838.
45. Sun YJ, Lu P, Ling JY, Zhang HX, Chen C, Zhang CK. Nucleoside from *Cordyceps kyushuensis* and the distribution of two active components in its different parts. *Yao Xue Xue Bao* 2003 ; 38: 690-694.
46. Fan Z. Coix: Chemical composition and health effects. *Trends Food Sci & Technol* 2017 ; 61: 160-175.
47. Kondo Y, Nakajima K, Nozoe S, Suzuki S. Isolation of ovulatory-active substances from crops of Job's Tears (*Coix lacryma-jobi* L. var. ma-yuen Stapf.). *Chem Pharm Bull* 1988 ; 36: 3147-152.
48. Nagao T, Otsuka H, Kohda H, Sato T, Yamasaki K. Benzoxazinones from *Coix lacryma-jobi* var. ma-yuen. *Phytochem* 1985 ; 24: 2959-2962.
49. Gu YX, Wang ZS, Li SX, Yuan QS. Effect of multiple factors on accumulation of nucleosides and bases in *Cordyceps militaris*. *Food Chem* 2007 ; 102: 1304-1309.
50. Shih IL, Tsai KL, Hsieh C. Effects of culture conditions on the mycelial growth and bioactive metabolite production in submerged culture of *Cordyceps militaris*. *Biochem Eng J* 2007 ; 33: 193-201.
51. Dziezak JD. Antioxidants - the ultimate answer to oxidation. *Food Technol* 1986 ; 40: 94.
52. Mei H, Wang YS, Huang SC, Duh PD. Comparison of protective effects between cultured *Cordyceps militaris* and natural *Cordyceps sinensis* against oxidative damage. *J Agric Food Chem* 2006 ; 54(8) : 3132-3138. <https://DOI.org/10.1021/jf053111w>
53. Joshi M, Sagar A, Singh zkanwar S and Singh S. Anticancer, antibacterial and antioxidant activities of *Cordyceps militaris*, *Ind J Experimental Biol* 2019 ; 57: 15-20. <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/45567>

54. Li SP, Li P, Dong TT, Tsim KW. Anti-oxidation activity of different types of natural *Cordyceps sinensis* and cultured *Cordyceps mycelia*. *Phytomed* 2001 ; 8: 207-212.
55. ทรงชัย สีโชติ, ธนภฤต แก้วถาวร, ชินวัฒน์ บุญเมือง, วิฑูร รุพหิรัญสกุล, วรรณธร ระฤกชาติ, และ เสกสรร โชคพัฒนกิจ. (2556) การเปรียบเทียบเมล็ดธัญพืชที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงเส้นใยเชื้อ *Cordyceps militaris*. ปรินญาณีพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต. โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า. นครนายก: โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า. 102 หน้า.
56. ยาวภา ทองอร่าม. การศึกษาเปรียบเทียบการเพาะเลี้ยงถึงเชื้อสีทองโดยใช้หัวเชื้อเห็ดและหัวเชื้อแข็งของ *Cordyceps militaris* บนเมล็ดธัญพืช. วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า. 2558 ; 13: 87-99.

การประยุกต์ใช้เทคนิคการชี้บ่งอันตรายทุกการดำเนินงานของโรงงานอุตสาหกรรม กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมในเขตจังหวัดนครราชสีมา

Application of overall operation hazard identification model of industrial plant: case study of industrial plant in Nakhon Ratchasima province

จัดพล ภัยแคล้ว¹, สงวน วงษ์ชวลิตกุล², มารุต โครตพันธ์³

Jadpol Paikhaew¹, Sanguan Vongchavalitkul², Marut Khodpun³

Received: 21 February 2020 ; Revised: 22 June 2020 ; Accepted: 8 July 2020

บทคัดย่อ

การเลือกใช้เทคนิคการชี้บ่งอันตรายให้เหมาะกับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีขนาดแตกต่างกันและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันมีความยุ่งยากและใช้เวลาในการศึกษาเพื่อให้ครอบคลุมการดำเนินงานทุกด้าน ผู้วิจัยได้พัฒนาเทคนิคการชี้บ่งอันตรายทุกการดำเนินงาน (Overall Operation Hazard Identification Model: OOHIM) ที่ครอบคลุมการปฏิบัติงานทั้งหมดของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน สามารถนำไปใช้กับอุตสาหกรรมทุกประเภท เป็นเทคนิคที่ไม่ซับซ้อนใช้งานง่าย โดยใช้จุดแข็งของเทคนิค Checklist, เทคนิค What if?, เทคนิค HAZOP และเทคนิค JSA มาพัฒนาเป็นเทคนิค OOHIM

ผลการวิจัยพบว่า สามารถนำไปใช้ค้นหาปัจจัยเสี่ยงของโรงงานอุตสาหกรรมหลายขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ในจังหวัดนครราชสีมาโดยเปรียบเทียบกับเทคนิค Checklist พบว่าสามารถค้นหาปัจจัยเสี่ยงครอบคลุมการดำเนินงานทั้ง 4 ด้านมากกว่าเทคนิค Checklist งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบเปรียบเทียบกับเทคนิคการชี้บ่งอันตรายเพียงเทคนิคเดียวควรศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเปรียบเทียบกับเทคนิคการชี้บ่งอันตรายอื่นๆ เทคนิค OOHIM สามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นด้วยการเพิ่มหัวข้อรายการตรวจสอบ

คำสำคัญ: การชี้บ่งอันตราย การดำเนินงาน ความปลอดภัย

Abstract

The selection of hazard identification techniques that are suitable for factories of different sizes and different production processes is complicated and takes time to study and to consider all operations. We have developed the Overall Operation Hazard Identification Model: OOHIM. This model covers all operations of industrial plant with different production processes. It can be applied to all types of industries. It is a technique that is not complicated and is easy to use. The strengths of the Checklist Technique, the What- if Technique, the HAZOP Technique, and the JSA Technique are used to develop the OOHIM technique.

The results of the research showed that the OOHIM is able to search for risk factors of small industrial plant at medium and large size in Nakhon Ratchasima province and is compared with the Checklist Technique, It was found that it can be searched for risk factors, covering all 4 operations better than the Checklist Technique. This research tests and compares with only one hazard identification technique. More research should be done to compare OOHIM

¹ นักศึกษาปริญญาเอก, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

² รองศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

³ อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹ Doctor Degree student, Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University, Mueang District, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

² Assoc. Prof., Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University, Mueang District, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

³ Lecturer, Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University, Mueang District, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

* Corresponding author: Jadpol Paikhaew, Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University, Mueang District, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand. jadpolastk@gmail.com

with the other Hazard Identification methods. The OOHIM techniques can be developed to be more effective by adding a checklists item.

Keywords: Hazard Identification, Operation, Safety

บทนำ

แผนยุทธศาสตร์ชาติ ส่วนภาคอุตสาหกรรมได้มีเป้าหมายที่จะพัฒนาฐานอุตสาหกรรมเดิมให้มีศักยภาพ เพื่อเป็นศูนย์กลางการผลิต การค้าและการลงทุน นำไปสู่การเพิ่มเทคโนโลยีเพื่อการผลิต ส่งผลให้สภาพแวดล้อมการทำงานเปลี่ยนไปจากเดิม จากการทำงานโดยใช้แรงงานคนเพียงอย่างเดียว เป็นการทำงานโดยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ รวมทั้งการทำงานของคนที่ร่วมกับหุ่นยนต์ นอกจากนี้ยังได้มีการนำวัสดุและสารเคมีใหม่ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้น การพัฒนากระบวนการผลิตดังกล่าวยังส่งผลให้เกิดปัจจัยเสี่ยงที่แฝงอยู่ในกระบวนการผลิตและการดำเนินงานที่อาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน การเลือกเทคนิคการชี้บ่งอันตรายที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตจะทำให้สามารถป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นสามารถลดความเสี่ยงการเกิดอันตรายและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น เทคนิคการชี้บ่งอันตรายที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบัน เช่น HAZOP, Checklists, What if, Event Tree Analysis, FMEA, Failure Tree Analysis นอกจากนี้ยังมีเทคนิคอื่นๆ อีกจำนวนมากที่นักวิจัยทั่วโลกได้ทำการศึกษาและนำมาใช้กับอุตสาหกรรมต่างๆ แม้ว่ากรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ออกพระราชกฤษฎีกา พ.ศ. 2542 ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนบริหารจัดการความเสี่ยง ทำให้อัตราการเกิดอุบัติเหตุโดยรวมมีแนวโน้มลดลง แต่อัตราการเกิดอุบัติเหตุร้ายแรงจากการทำงานยังคงเกิดขึ้น เช่น การเกิดเพลิงไหม้โรงงานอุตสาหกรรม¹ การเสียชีวิตจากการตกบ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

ปัญหาคือเทคนิคการชี้บ่งอันตรายที่ใช้อยู่ในปัจจุบันยังไม่สามารถค้นหาปัจจัยเสี่ยงได้ครอบคลุมทุกการดำเนินงาน และการเลือกใช้เทคนิคการชี้บ่งอันตรายที่มีคุณสมบัติในการค้นหาปัจจัยเสี่ยงที่แตกต่างกัน รวมทั้งความเหมาะสมกับกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน ทำให้การเลือกใช้เทคนิคการชี้บ่งอันตรายที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตของแต่ละโรงงานอุตสาหกรรมจะต้องศึกษาให้รอบครอบก่อนตัดสินใจเลือกใช้

อุมารัตน์ ศิริจรูญวงศ์² ได้ศึกษาการนำเทคนิค Preliminary Hazard Analysis (PHA) ใช้ในการค้นหาอันตรายเบื้องต้นในช่วงการออกแบบกระบวนการผลิตหรือเครื่องจักรเพื่อกำหนดมาตรการความปลอดภัยให้เพียงพอก่อนเริ่มดำเนินการผลิต ผลการศึกษาพบว่าเทคนิค PHA มีขั้นตอน

ที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยาก จึงสามารถนำไปใช้ค้นหาสาเหตุแท้จริงในการสอบสวนอุบัติเหตุ อย่างไรก็ตาม เทคนิค PHA เป็นเพียงการวิเคราะห์อันตรายในระดับเบื้องต้นเท่านั้น หากต้องการเพิ่มความสามารถในการค้นหาอันตรายอย่างครอบคลุมจึงควรใช้เทคนิคนี้ร่วมกับเทคนิคอื่นๆ เช่น failure mode effects analysis (FMEA) หรือ what-if

B. K. Rout³ ได้ศึกษาพัฒนาเครื่องมือที่เรียกว่า HIRAC ; Hazard Identification, Risk Assessment, and Control measures มุ่งหมายของการศึกษาคือ การชี้บ่งอันตรายที่เป็นไปได้ทั้งหมดในสถานที่ทำงานที่แตกต่างกันของอุตสาหกรรมการแปรรูปแร่เหล็กเพื่อดำเนินการประเมินความเสี่ยงด้าน อาชีวอนามัย เพื่อคำนวณการจัดลำดับความเสี่ยงและเปรียบเทียบระดับความเสี่ยงก่อนและหลังมาตรการควบคุม โดยพิจารณาการดำเนินงานในพื้นที่ทำงานใน 5 หัวข้อหลักคือ 1) ทางกายภาพ 2) ฝุ่นละอองและสารเคมี 3) ชีวภาพ (Biological) 4) ความเหมาะสมของงาน (ergonomically) 5) ภาวะจิตสังคม (Psychosocial) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับเทคนิค OOHIM พบว่ายังไม่ได้พิจารณาปัจจัยเสี่ยงด้านมาตรฐานและข้อกฏระเบียบรวมทั้งพฤติกรรมเสี่ยงของผู้ปฏิบัติงาน

จังหวัดนครราชสีมาเป็นจังหวัดที่มีโรงงานอุตสาหกรรมมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากข้อมูลของสำนักงานแรงงานจังหวัดนครราชสีมา ในเดือนกุมภาพันธ์ 2561 จังหวัดนครราชสีมา มีโรงงานอุตสาหกรรมทั้งสิ้น 2,681 โรงงาน แบ่งออกเป็น 22 ประเภทอุตสาหกรรม โดยมีโรงงานอุตสาหกรรมประเภทการเกษตรมากที่สุด รองลงมาเป็นโรงงานอุตสาหกรรมโลหะ และอุตสาหกรรมกระดาษ⁴

ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาพัฒนาเทคนิคการชี้บ่งอันตรายที่ใช้อยู่ในปัจจุบันให้สามารถใช้ค้นหาปัจจัยเสี่ยงได้ครอบคลุมทุกการดำเนินงาน สามารถใช้ได้กับทุกโรงงานอุตสาหกรรมทุกกระบวนการผลิต และใช้ได้กับโรงงานอุตสาหกรรมทุกขนาด โดยศึกษาข้อมูลจากโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดนครราชสีมาเป็นกรณีศึกษา

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปแบบการชี้บ่งอันตรายของโรงงานอุตสาหกรรมในเขตจังหวัดนครราชสีมา
2. เพื่อพัฒนารูปแบบการชี้บ่งอันตรายที่เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรม

3. เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงด้านความปลอดภัยในการดำเนินงานของโรงงานอุตสาหกรรมในเขตจังหวัดนครราชสีมา

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษารูปแบบการชั่งอันตรายทุกการดำเนินงานของโรงงานอุตสาหกรรมในเขตจังหวัดนครราชสีมา ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วทำการสำรวจเทคนิคการชั่งอันตรายที่โรงงานอุตสาหกรรมในเขตจังหวัดนครราชสีมาใช้ดำเนินงานในปัจจุบัน โดยส่งแบบสอบถามไปยังโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ระยะเวลาในการสำรวจและเก็บข้อมูล 2 เดือน

2. นำข้อมูลผลสำรวจเทคนิคการชั่งอันตรายที่โรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดนครราชสีมาเลือกใช้ทั้งหมดมาสร้างเทคนิคการชั่งอันตรายใหม่ โดยนำจุดเด่นของแต่ละเทคนิคมารวมกันสร้างเป็นเทคนิคการชั่งอันตรายแบบใหม่ที่มีชื่อเรียก การชั่งอันตรายทุกการดำเนินงาน (Overall Operation Hazard Identification Model ; OOHIM) แล้วนำไปทดสอบหาปัจจัยเสี่ยงในกระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่างเปรียบเทียบกับเทคนิคการชั่งอันตรายที่โรงงานตัวอย่างใช้ดำเนินงานอยู่ในปัจจุบัน

3. นำเทคนิคการชั่งอันตรายแบบใหม่หรือเทคนิค OOHIM ไปทดสอบกับโรงงานอุตสาหกรรมหลายขนาด คือ โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ แล้ววิเคราะห์ผลเปรียบเทียบปัจจัยเสี่ยงด้านความปลอดภัยในการดำเนินงานของโรงงานอุตสาหกรรมด้วยแผนภูมิแฉกมุม (Radar Chart)

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัย

1. ผลการสำรวจเทคนิคการชั่งอันตรายที่โรงงานอุตสาหกรรมในเขตจังหวัดนครราชสีมาใช้ดำเนินงานในปัจจุบัน

ผู้วิจัยได้ศึกษาการชั่งอันตรายในในขั้นตอนของการดำเนินงาน (Operation phase) เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่โรงงานอุตสาหกรรมได้ดำเนินการผลิตสินค้า เทคนิคการชั่งอันตรายที่เหมาะสมในช่วงเวลาดำเนินงานได้ศึกษาจากตำราและงานวิจัย 3 ท่าน ที่ได้ศึกษาถึงความเหมาะสมของเทคนิคการชั่งอันตรายในช่วงเวลาดังกล่าวคือ John Gould,⁵ D.

Jafari and H. Kazemipour⁶ และ Frack P. Lees⁷⁻⁹ ผู้วิจัยได้ดำเนินการโดยเลือกความเหมาะสมของเทคนิคของของนักวิจัยจาก 2 ใน 3 ท่านที่ระบุถึงความเหมาะสมของเทคนิคการชั่งอันตรายในช่วงดำเนินการ (Operation phase) ซึ่งสามารถเลือกเทคนิคการชั่งอันตรายได้ 22 เทคนิค แล้วจึงได้นำทั้ง 22 เทคนิคการชั่งอันตรายไปสร้างเป็นแบบสอบถาม และส่งไปสำรวจตามโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ในเขตจังหวัดนครราชสีมาที่เข้าข่ายจะต้องทำการชั่งอันตราย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงานด้านความปลอดภัยและการประเมินความเสี่ยงขององค์กร

1.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาการเลือกใช้เทคนิคการชั่งอันตรายในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นโรงงานอุตสาหกรรมในเขตจังหวัดนครราชสีมาที่เข้าข่ายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงานด้านความปลอดภัยและการประเมินความเสี่ยงขององค์กรจำนวน 110 โรงงาน

1.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถาม

ส่งแบบสอบถามให้กับเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยหรือผู้ที่เกี่ยวข้องของโรงงานกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 110 โรงงาน และโทรศัพท์ไปสอบถามโดยตรงจนครบทุกโรงงาน ใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 2 เดือน

1.3 ผลการสำรวจ

1.3.1 คำถามทั่วไปเกี่ยวกับบุคคล

ผู้ตอบคำถามเป็นเพศชายร้อยละ 27 เป็นเพศหญิงร้อยละ 73 โดยส่วนมากมีอายุระหว่าง 20-30 ปี มีวุฒิการศึกษาตั้งแต่ระดับปวส./อนุปริญญา ถึงระดับปริญญาตรี และมีอายุงานระหว่าง 1-5 ปี

1.3.2 คำถามเกี่ยวกับรูปแบบการชั่งอันตรายในโรงงานอุตสาหกรรม

ผลการสำรวจพบว่าโรงงานที่ได้ดำเนินการชั่งอันตรายมีทั้งหมด 71 โรงงาน ส่วนอีก 39 โรงงานไม่ได้ดำเนินการชั่งอันตราย ข้อมูลของโรงงานที่ทำการชั่งอันตรายจำนวน 71 โรงงาน ดังนี้

Table 1 Show hazard identification data for 3 group factories

Technical	factory	%
Checklist	60	85
JSA	9	13
What if	1	1
HAZOP	1	1

โรงงานที่ไม่ได้ดำเนินการซึ่งบ่งอันตรายจำแนกเหตุผล
ของโรงงานที่ไม่สามารถดำเนินการซึ่งบ่งอันตรายได้ จำนวน 39
โรงงาน ดังนี้

Table 2 Show the reasons for the 39 factories that are unable to identify hazards

The reasons of unable to identify hazards	Factory	%
1. Not enough personnel	20	51
2. No knowledge in the operation	10	26
3. Do not know must identify hazards	9	23

โรงงานที่ดำเนินการซึ่งบ่งอันตราย ได้เลือกใช้
เทคนิคการซึ่งบ่งอันตรายจำนวน 4 เทคนิค โดยเทคนิคการซึ่ง
บ่งอันตรายที่โรงงานเลือกใช้มากที่สุดคือเทคนิค Checklist
จำนวน 60 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 85 รองลงมาคือเทคนิค JSA
จำนวน 9 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 13 ส่วนเทคนิค HAZOP และ
เทคนิค What if? มีจำนวนเท่ากันคือเทคนิคละ 1 โรงงาน คิด
เป็น ร้อยละ 1

ผู้วิจัยได้นำจุดเด่นของทั้ง 4 เทคนิคการซึ่งบ่งอันตราย
มารวมกันและสร้างรูปแบบการซึ่งบ่งอันตรายแบบใหม่

2. ผลการสร้างเทคนิคการซึ่งบ่งอันตรายแบบใหม่

ผู้วิจัยนำจุดเด่นของเทคนิคการซึ่งบ่งอันตรายทั้ง 4
เทคนิคมารวมกัน แล้วนำเทคนิคการซึ่งบ่งอันตรายแบบใหม่
ที่มีชื่อเรียก การซึ่งบ่งอันตรายทุกการดำเนินงาน (Overall
Operation Hazard Identification Model ; OOHIM) โดยมี
รายละเอียดดังนี้

OOHIM เป็นเทคนิคการซึ่งบ่งอันตรายที่รวมเอา
จุดเด่นของเทคนิค What if?, Checklist, JSA และ HAZOP
เพื่อค้นหาปัจจัยเสี่ยงที่แฝงอยู่ในกิจกรรมการดำเนินงานที่
เกี่ยวข้องกับ คน เครื่องจักร อุปกรณ์ มาตรฐานวิธีการสภาพ
แวดล้อมและระบบสาธารณูปโภค โดยพิจารณาข้อบกพร่อง
ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้คน ทรัพย์สินและผลกระทบต่อ
สิ่งแวดล้อม

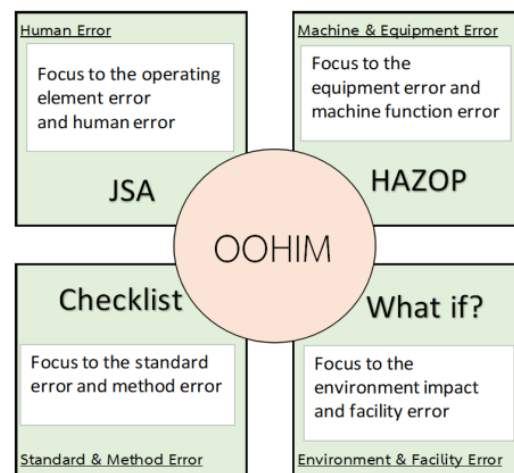
**Figure 1** Show the model of hazard identification in all operations

Figure 1 แสดงรูปแบบการซึ่งบ่งอันตรายแบบ
OOHIM จะรวมเอาจุดเด่นของ 4 เทคนิคเพื่อค้นหาปัจจัยเสี่ยง
ในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

- เทคนิค What if? จะค้นหาปัจจัยเสี่ยงด้าน
ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับความบกพร่องด้านสิ่งแวดล้อมและ
ระบบสาธารณูปโภค คำถาม What if? ของเทคนิคนี้จะสะท้อน
ให้เห็นผลกระทบที่จะตามมา ทำให้สามารถคาดเดาถึงความ
รุนแรงของปัจจัยเสี่ยง

- เทคนิค Checklist จะค้นหาปัจจัยเสี่ยงในการ
ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับความบกพร่องในมาตรฐานและชั้น

ตอน มาตรฐานที่ไม่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดทั้งทางวิศวกรรม และทางกฎหมายสามารถนำเทคนิคนี้เข้ามาเสริมจุดอ่อนในการค้นหาปัจจัยเสี่ยงดังกล่าว

- เทคนิค HAZOP ใช้เพื่อค้นหาปัจจัยเสี่ยงในการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับความบกพร่องของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ความบกพร่องของเครื่องจักรที่เกิดจากทางกายภาพ เช่น ความร้อน รั่วสี แสง เสียง ระบบไฟฟ้า ตลอดจนการเคลื่อนไหวต่างๆ จุดเด่นของเทคนิคนี้จะทำให้สามารถค้นหาปัจจัยได้ครอบคลุม

- เทคนิค JSA ใช้เพื่อค้นหาปัจจัยเสี่ยงสำหรับการกระทำที่เกี่ยวข้องกับความบกพร่องของมนุษย์และอาชีวอนามัย เทคนิคนี้จะให้ความสำคัญเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานที่เหมาะสม ความพร้อมของการทำงานรวมทั้งพฤติกรรมเสี่ยงของผู้ปฏิบัติงาน

การตรวจสอบการดำเนินงานแต่ละครั้งในกระบวนการผลิตจะระบุหัวข้อการตรวจสอบสำหรับการปฏิบัติงานแต่ละอย่างเพื่อครอบคลุมกิจกรรมที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและผลกระทบที่เป็นไปได้มากที่สุด

Table 3 Show topic to check the risk factors of OOHIM technique

Operations	Inspection topics
A: Human error	A1. Do not use personal protective equipment. A2. There is a chance that the sharp object is cut, clamped, bumped. A3. There is a chance that employees will fall from a high place or slip down. A4. Not following the specified procedures A5. Staff lack expertise, physical condition is not ready
B: Machine & Equipment error	B1. The machine has a high pressure, steam system, high heat, low temperature. B2. The machine has no protective equipment such as cover, sensor B3. The machine has no protection against radiation, noise, dust, smoke, vapors. B4. The machine has no electric shock protection system B5. The machine has no emergency stop button or emergency stop system
C: Standard and method error	C1. There is no working standard used to control operations C2. No emergency plan C3. The standard is complex and unclear and not enough warning C4. The standard does not cover legal requirements
D: Environment and facility error	D1. The structure of the building or utility system does not comply with the law. D2. There is no protection or control system when errors occur D3. There is no indication of the state of a public utility system. D4. No maintenance plan and monthly, annual audit plan D5. Insufficient controls and lack of qualifications

ขั้นตอนการชี้บ่งอันตรายโดยวิธี OOHIM

1) จัดตั้งคณะที่มงานตรวจสอบที่มาจากหลายส่วนงาน เช่น แผนกซ่อมบำรุง แผนกวิศวกรรม แผนกผลิต แผนกสิ่งแวดล้อมจำนวน 4-5 คน

2) เขียนขั้นตอนของกระบวนการดำเนินงานลงในใบตรวจสอบ ซึ่งจะต้องเขียนกระบวนการหลักและกระบวนการสนับสนุนลงไปให้ครอบคลุมทุกการดำเนินงาน

3) เข้าตรวจสอบพื้นที่หน้างานจริง และลงบันทึกในใบตรวจสอบปัจจัยเสี่ยงของ OOHIM โดยการเครื่องหมาย P ในตารางตรงกับหัวข้อที่จะเป็นปัจจัยเสี่ยงพร้อมลงเหตุผลในช่องหมายเหตุ

4) นำปัจจัยเสี่ยงจากใบตรวจสอบทั้งหมดมาลงในใบประเมินความเสี่ยง

2.1 การทดสอบประสิทธิภาพเทคนิค OOHIM

ในการทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิคการชี้บ่งอันตราย ผู้วิจัยใช้การเปรียบเทียบปัจจัยเสี่ยงที่ค้นหาโดยเทคนิค Checklist และ เทคนิค OOHIM ในกระบวนการผลิตทอกันฝุ่น (Dust cover) ใช้ค้อพรตยนต์ของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา โดยทำการตรวจประเมินโดยคณะกรรมการความปลอดภัยของบริษัทจำนวน 4 คน แล้วนำผลมาเปรียบเทียบกัน ขั้นตอนการดำเนินการชี้บ่งอันตรายโดยเทคนิค OOHIM มีดังนี้

1) ศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิตหลักและกระบวนการสนับสนุนหรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง โดยแสดงให้เห็นเส้นทางของกระบวนการ (Process Flow chart) เพื่อให้ครอบคลุมทุกการดำเนินการตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการ

2) อธิบายแบบฟอร์มของ OOHIM และ Checklist ให้กับเจ้าหน้าที่ตรวจสอบ

3) ทำการตรวจสอบหน่วยงานจริง โดยการสังเกตและสอบถามพนักงานหรือหัวหน้างาน

4) กรอกข้อมูลลงในแบบฟอร์มแล้วสรุปผลเปรียบเทียบ

2.1.1 กระบวนการดำเนินงานผลิตทอกันฝุ่น (Dust cover) ใช้ค้อพรตยนต์

กระบวนการผลิตทอกันฝุ่น มีกำลังการผลิต 140,000 ชิ้นต่อเดือน ใช้เม็ดพลาสติกเป็นวัตถุดิบจำนวน 6 ตันต่อเดือน กระบวนการผลิตหลัก เริ่มตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบเข้าสู่ถังเก็บแล้วดูดเม็ดพลาสติกเข้าสู่เครื่องหลอมด้วยความร้อนแล้วฉีดพลาสติกเหลวเข้าสู่เบ้าหลอม แล้วตัดชิ้นงานที่ได้ด้วยความร้อนแล้วส่งไปยังเครื่องตัดแต่งขึ้นรูป ส่วนกระบวนการสนับสนุนหรือกิจกรรมสนับสนุนจะเริ่มตั้งแต่การรับวัตถุดิบและการจัดเก็บตลอดจนการเคลื่อนย้ายเข้าสู่กระบวนการจัดเตรียม ขั้นตอนการเปลี่ยนโมล ระบบน้ำหล่อเย็นและระบบลม ดังแสดงใน Figure 2

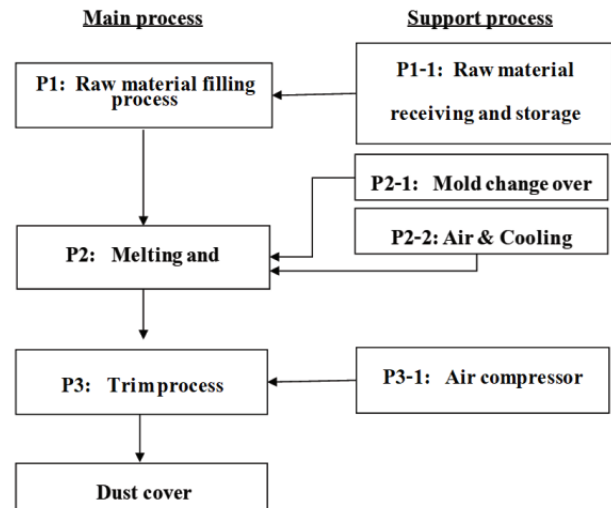


Figure 2 Show the process of manufacturing dust cover of car shock absorbers

2.1.2 ผลการค้นหาปัจจัยเสี่ยงโดยเทคนิค OOHIM และเทคนิค Checklist โดยคณะกรรมการความปลอดภัย

2.1.2.1 ผลการค้นหาปัจจัยเสี่ยงโดย เทคนิค OOHIM

การชี้บ่งอันตรายโดย OOHIM จะตรวจสอบปัจจัยเสี่ยงของกระบวนการหลักและกระบวนการสนับสนุนหรือกระบวนการที่เกี่ยวข้อง กระบวนการแทนตัวอักษรใน Figure 2 รายการหัวข้อตรวจสอบปัจจัยเสี่ยงแทนด้วยอักษร A1-D5 แสดงไว้ใน Table 4 ทำเครื่องหมาย P ในรายการหัวข้อการตรวจสอบเมื่อพบข้อผิดพลาดที่เกี่ยวข้องกับข้อผิดพลาดของมนุษย์ (A) ข้อผิดพลาดเครื่องจักรและอุปกรณ์ (B) มาตรฐานและข้อผิดพลาดของวิธีการ (C), ข้อผิดพลาดด้านสิ่งแวดล้อมและ สาธารณูปโภค (D) ในช่องหัวข้อการตรวจสอบของแต่ละกระบวนการใน Table 4 หากช่องที่มีเครื่องหมาย P ต้องแสดงความคิดเห็นที่ด้านล่างของตาราง

Table 4 Show results of risk factors recording by OOHIM technique

Process	A: Human error					B: Machine & Equipment error					C: Standard and method error				D: Environment and facility error				
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	D5
P1				P							P	P				P			
P1-1	P			P							P					P			
P2		P	P			P													P
P2-1				P		P					P								
P2-2				P							P								
P3										P									
P3-1																			
	Comment					Comment					Comment				Comment				
	<p>P1: A4 Employees do not know the sequence of steps to fill.</p> <p>P1-1: A1 There is no protection device while filling the plastic granules.</p> <p>P1-1: A4. Employees do not know the sequence of steps in storage and movement of raw materials.</p> <p>P2: A2 The work conveyor can be clamped because there is no cover.</p> <p>P2: A3. No sign to prohibit unrelated people on the 2nd floor of the device</p> <p>P2-1: A4. The employee doesn't know the sequence of steps to change the mold.</p> <p>P2-2: A4. The employee does not know the sequence of steps to open the coolant system.</p>					<p>P2: B1. Cutting blades that are extremely hot when in contact with plastics while the machine stops incorrectly. Fire may occur.</p> <p>P2-1: B1 The cooling water system will not flow, causing the plastic palletization system to overheat. May cause a fire</p> <p>P3: B2 The cutter cover has no sensor. might the Employees put a hand into the machine while the machine is running</p>					<p>P1: C1 There are no standards and procedures for adding raw materials.</p> <p>P1: C2 There is no emergency plan when raw materials fall to the ground.</p> <p>P1-1: C1 There is no standard in the storage and movement of raw materials.</p> <p>P2-1: C1 There is no standard procedure for changing mold.</p> <p>P2-2: C1 There is no standard procedure for coolant operation systems</p>				<p>P1: D2 No equipment to protect the environmental impact in the event of material leakage</p> <p>P1-1: D2 The storage building does not have a material barrier to find leaks or water barriers from firefighting.</p> <p>P2: D4 No machine maintenance plan</p>				

ผลการชี้บ่งอันตรายด้วยวิธี OOHIM ในกระบวนการผลิตพลาสติกของใช้ครัวเรือนในโรงงานตัวอย่างโดย

เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยและคณะกรรมการความปลอดภัยโรงงาน พบปัจจัยเสี่ยง 18 รายการ ดังแสดงใน Table 4

Table 5 Show results of risk factors recording by checklist technique

No	Question	Check result			Key point record
		Yes	No	N/A	
Checklist for storing raw materials					
1	[E] Is the location of the building suitable?		P		Store together with general raw materials.
2	[E] Is storage appropriate?		P		Put on a wooden pallet
3	[E] Are there firefighting equipment or not?		P		
4	[E] There is an emergency plan in the event of a spillage of raw materials or chemical		P		none
Checklist for raw material storage management					
5	[S] There is a clear label indicating the raw material name.		P		
6	[E] With FIFO disbursement		P		none
7	[H] There is a duty determination. Occupational health, disbursement, 5 S.		P		none
8	[H] Is there a regulatory body?		P		none
9	[H] Do you have personal protective equipment to use?		P		
10	[H] Is there a facility for operators?		P		
11	[E] Is there a rule for operators if material spills occur?		P		There is no document to proceed.
12	[E] Is there a device to clean the raw materials if spills occur?		P		Device not found
Checklist for raw materials					
13	[E] Are materials or flammable substances?		P		
14	[H] Are employees wearing personal protective equipment?		P		
15	[S] Is there a manual for raw material transportation?		P		There is no document to proceed.
16	[H] Are employees trained in emergency plans?		P		No document
17	[H] Training for personnel regarding the use of personal protective equipment		P		No document
Checklist for machinery and equipment					
18	[M] There is a document recording the inspection of machinery and equipment before working.		P		
19	[M] The machine has a label indicating the control button.		P		
20	[M] The machine has an emergency stop button in the right position.		P		
21	[M] The machine has a cover to protect in danger point.		P		
22	[M] With documentation of routine maintenance		P		No document
23	[M] The machine is installed with a ground wire.		P		
24	[M] The machine has a warning system for abnormalities.		P		
Checklist for operational					
25	[S] Have standard documents for work		P		
26	[H] Staff are trained to have skills.		P		
27	[H] Employees follow the specified procedures.		P		

Table 5 Show results of risk factors recording by checklist technique (Cont.)

No	Question	Check result			Key point record
		Yes	No	N/A	
28	[H] There is a clear positioning of equipment in the work area.	P			
29	[H] Supervisors regularly check the work of employees.		P		No document
30	[S] Changes in processes have been recorded.		P		No document

Remark: H ; Human M ; Machine S ; Standard E ; Environment

ผลการชี้บ่งอันตรายด้วยเทคนิค Checklist ของกระบวนการผลิตของฝาครอบกันฝุ่นของใช้คอล์ยรถยนต์ตรวจสอบโดยเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยและคณะกรรมการความปลอดภัยของโรงงานตัวอย่าง พบปัจจัยเสี่ยง 14 รายการ ดังแสดงใน Table 5

วิเคราะห์ผลสรุปเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่โรงงานตัวอย่างใช้อยู่ในปัจจุบัน

จากคำจำกัดความของ การดำเนินงาน¹⁰ คือการออกแบบกระบวนการผลิต การรับชำระเงิน การจัดเก็บ การจัดการ หรือการขนส่ง การขนส่งวัตถุดิบ เชื้อเพลิง สารเคมี

หรือสารอันตราย ผลิตภัณฑ์หรือวัตถุพลอยได้ กระบวนการทำงาน เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต กิจกรรมหรือสถานการณ์ภายในโรงงาน สามารถแยกกลุ่มการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการทำงานได้โดยแบ่งออกเป็น 4 ด้าน คือ การดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับบุคคล เครื่องจักรและอุปกรณ์ มาตรฐานหรือวิธีการ และสภาพแวดล้อมและระบบสาธารณูปโภค เพื่อเปรียบเทียบปัจจัยเสี่ยงที่ได้รับจากการตรวจสอบจากทั้งสองวิธีมาพิจารณาเปรียบเทียบว่าเทคนิคใดสามารถครอบคลุมของการดำเนินงานทั้ง 4 ด้าน

Table 6 Show results comparing OOHIM techniques and checklist techniques with 4 operations

Hazard Technical	Operation			
	Human	Machine & Equipment	Standard & Method	Environment & Facility
OOHIM	7 (39%)	3 (17%)	5 (28%)	3 (17%)
Checklist	5 (36%)	1 (7%)	2 (14%)	6 (43%)

การค้นหาปัจจัยเสี่ยงโดยเทคนิค OOHIM พบปัจจัยเสี่ยงจากคนงาน 7 รายการ ปัจจัยเสี่ยงจากเครื่องจักรและอุปกรณ์ 3 รายการ ปัจจัยเสี่ยงจากวิธีมาตรฐาน 5 รายการ และปัจจัยเสี่ยงจากสิ่งแวดล้อมและสาธารณูปโภค 3 รายการ

ผลการค้นหาปัจจัยเสี่ยงโดยเทคนิค Checklist พบปัจจัยเสี่ยงจากคนงาน 5 รายการ ปัจจัยเสี่ยงจากเครื่องจักรและอุปกรณ์ 1 รายการ ปัจจัยเสี่ยงจากมาตรฐานและวิธีการ 2 รายการ และปัจจัยเสี่ยงจากสิ่งแวดล้อมและสาธารณูปโภค 6 รายการ ดังแสดงใน Table 6

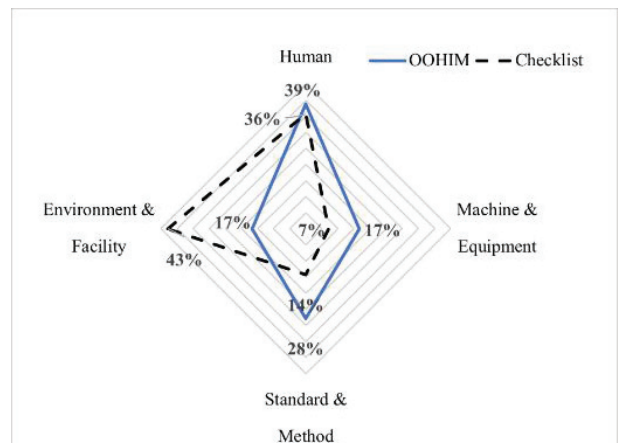


Figure 3 Show results comparing the risk factors of OOHIM technique and Checklist technique in all 4 operations

จาก Figure 3 เทคนิค OOHIM สามารถค้นหาปัจจัยเสี่ยงที่ครอบคลุมการดำเนินงานทั้ง 4 กลุ่มมากกว่าเทคนิค Checklist ที่ให้ความสำคัญกับการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมและการดำเนินงานของคนมากกว่า

3. ผลการทดสอบเทคนิค OOHIM เปรียบเทียบเทคนิค Checklist ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

ผลการนำเทคนิค OOHIM ไปทดสอบหาปัจจัยเสี่ยงในกระบวนการผลิตเปรียบเทียบกับเทคนิค Checklist ที่โรงงานเลือกใช้ โดยนำไปทดสอบกับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่จำนวน 6 โรงงาน ในเขตจังหวัดนครราชสีมา แล้ววิเคราะห์ผลเปรียบเทียบโดยใช้แผนภูมิไขว้แมงมุม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Table 7 Show results comparing OOHIM technique and Checklist technique in small industrial plants

Sample factory	Hazard Technical	Operation			
		Human	Machine & Equipment	Standard & Method	Environment & Facility
Small factory 1	OOHIM	6 (26.1%)	4 (17.4%)	8 (34.8%)	5 (21.7%)
	Checklist	9 (40.9%)	3 (13.6%)	4 (18.2%)	6 (27.3%)
Small factory 2	OOHIM	2 (20%)	2 (20%)	3 (30%)	3 (30%)
	Checklist	8 (40%)	2 (10%)	4 (20%)	6 (30%)

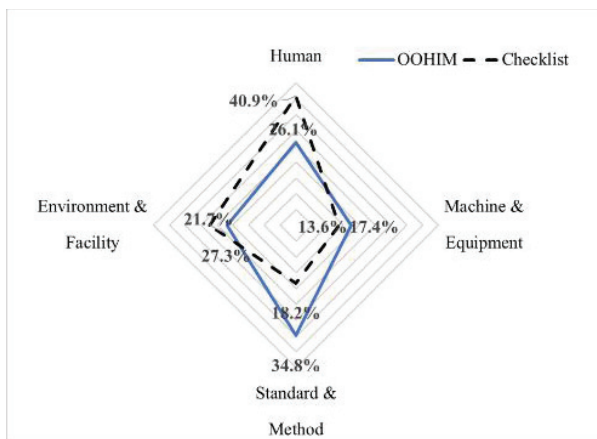


Figure 4 Show comparison results Small factory 1

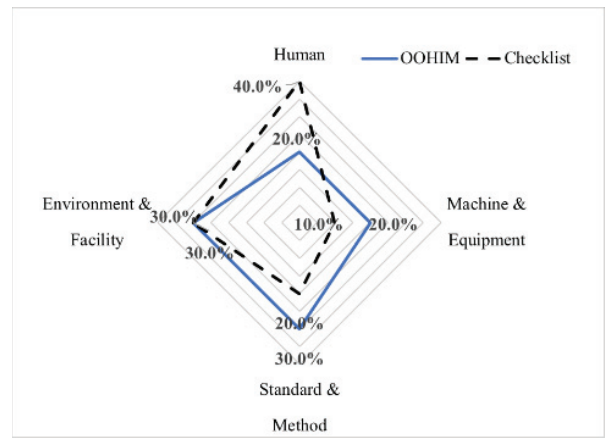


Figure 5 Show comparison results Small factory 2

Table 8 Show results comparing OOHIM technique and Checklist technique in medium-sized industrial plants

Sample factory	Hazard Technical	Operation			
		Human	Machine & Equipment	Standard & Method	Environment & Facility
Medium factory 1	OOHIM	3 (27.3%)	3 (27.3%)	3 (27.3%)	2 (18.1)
	Checklist	3 (30%)	2 (20%)	1 (10%)	4 (40%)
Medium factory 2	OOHIM	4 (26.6%)	3 (20.2%)	4 (26.6%)	4 (26.6%)
	Checklist	3 (23.0%)	2 (15.6%)	3 (23.0%)	5 (38.4%)

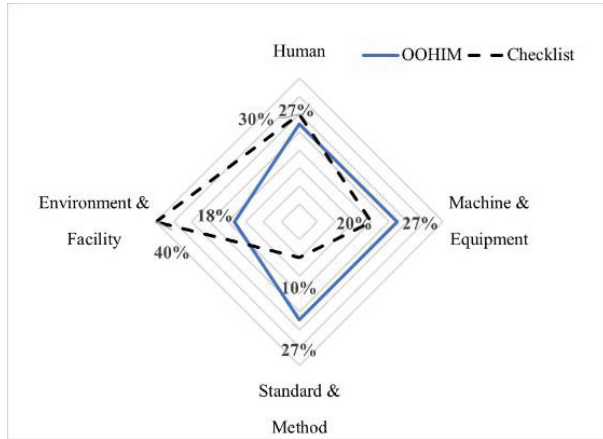


Figure 6 Show comparison results medium factory 1

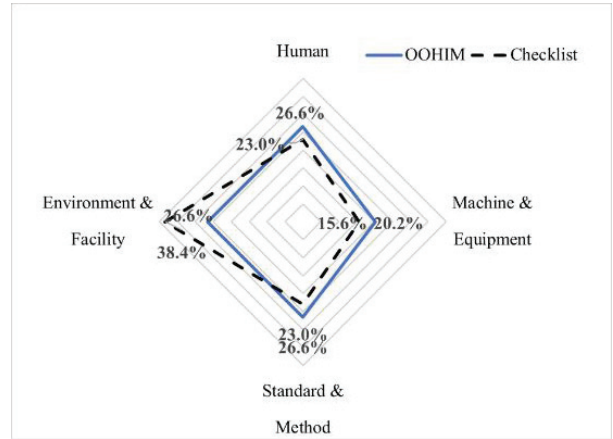


Figure 7 Show comparison results medium factory 2

Table 9 Show results comparing OOHIM technique and Checklist technique in large industrial plants

Sample factory	Hazard Technical	Operation			
		Human	Machine & Equipment	Standard & Method	Environment & Facility
Large factory 1	OOHIM	5 (25%)	6 (30%)	5 (25%)	4 (20%)
	Checklist	4 (31%)	3 (23%)	2 (15%)	4 (31%)
Large factory 2	OOHIM	5 (26%)	5 (26%)	4 (22%)	5 (26%)
	Checklist	4 (33%)	3 (25%)	2 (17%)	3 (25%)

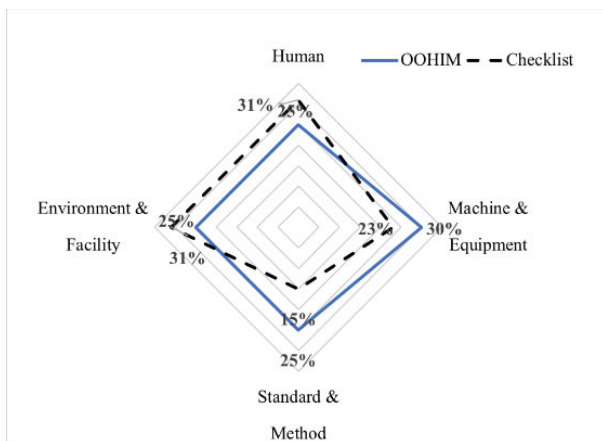


Figure 8 Show comparison results large factory 1

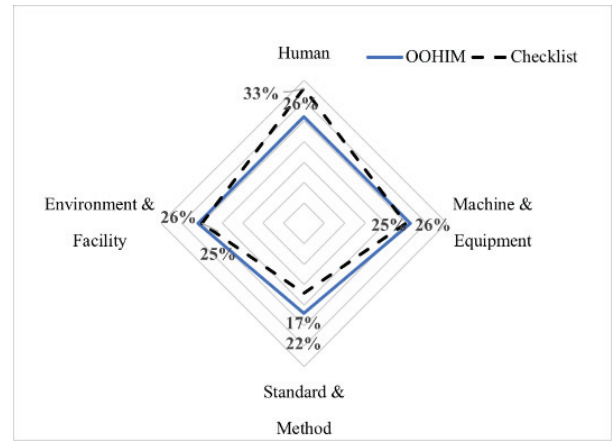


Figure 9 Show comparison results large factory 2

ผลการเปรียบเทียบการชี้บ่งอันตรายจากแผนภูมิไขว้แมงมุมในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กโดยเทคนิค OOHIM กับเทคนิค Checklist พบว่าเทคนิค OOHIM จะค้นหาปัจจัยเสี่ยงได้ครอบคลุมการดำเนินงานทั้ง 4 ด้านมากกว่าในขณะที่เทคนิค Checklist จะเน้นค้นหาปัจจัยเสี่ยงด้านคนและสิ่งแวดล้อม

ผลการทดสอบโรงงานขนาดกลางพบว่าเทคนิค OOHIM ค้นหาปัจจัยเสี่ยงครอบคลุมการดำเนินงานทั้ง 4 ด้านมากกว่าในขณะที่เทคนิค Checklist เน้นค้นหาปัจจัยเสี่ยงด้าน

คนและสิ่งแวดล้อม ส่วนผลการทดสอบกับโรงงานขนาดใหญ่ ทั้ง 2 เทคนิค สามารถค้นหาปัจจัยเสี่ยงครอบคลุมการดำเนินงานทั้ง 4 ด้านได้ใกล้เคียงกัน

อภิปรายผล

1. เทคนิคการชี้บ่งอันตราย OOHIM พัฒนาเพื่อให้สามารถใช้ค้นหาปัจจัยเสี่ยงครอบคลุมการดำเนินงานทั้ง 4 ด้าน และสามารถใช้กับทุกกระบวนการผลิตและโรงงานอุตสาหกรรมทุกขนาด ในขณะที่เทคนิค Checklist จะมุ่งเน้นในการค้นหาปัจจัยเสี่ยงที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

2. เทคนิค OOHIM ยังจำเป็นต้องทดสอบเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่นๆ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการค้นหาปัจจัยเสี่ยงก่อนนำไปประยุกต์ใช้ค้นหาปัจจัยเสี่ยงในกระบวนการผลิต

3. เทคนิค OOHIM สามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการเพิ่มหัวข้อตรวจสอบให้ครอบคลุมการดำเนินงานได้มากกว่า 4 ด้าน

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่าเทคนิค OOHIM เป็นเทคนิคที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถค้นหาปัจจัยเสี่ยงที่ครอบคลุมการดำเนินงานทั้งหมดและสามารถนำไปใช้ค้นหาปัจจัยเสี่ยงในอุตสาหกรรมที่ดำเนินกิจกรรมการผลิตได้ทุกประเภท เป็นเทคนิคไม่ซับซ้อนใช้งานง่าย มีความยืดหยุ่นสามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นด้วยการเพิ่มหัวข้อตรวจสอบให้เหมาะสมกับการดำเนินงานและสภาพแวดล้อมของการทำงานของโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท

ผลการทดสอบเพื่อค้นหาปัจจัยเสี่ยงของโรงงานอุตสาหกรรมหลายขนาดในจังหวัดนครราชสีมาและเปรียบเทียบกับเทคนิค Checklist พบว่าสามารถค้นหาปัจจัยเสี่ยงที่ครอบคลุมการปฏิบัติงานทั้งหมดมากกว่าเทคนิค Checklist งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบเปรียบเทียบเทคนิคการชี้บ่งอันตรายเพียงเทคนิคเดียวควรศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเปรียบเทียบกับเทคนิคการระบุอันตรายอื่นๆ

เอกสารอ้างอิง

1. หนังสือพิมพ์ข่าวสด. ตกบ่อบำบัดมรณะ ตาย5ศพ นิสิตสาวจุฬาฯ ด้วย คณาสัตวแพทย์ปี 5 ฝึกงานซีพี สูดก๊าซพิษจนหมดสติ-ร่างร่วง บ.ตังแกลงเสียใจเร่งเยียวยา. 2562 ธค. สืบค้นจาก: https://www.khaosod.co.th/special-stories/news_415208
2. อุมาร์ตัน ศิริจรรยาวงศ์. การวิเคราะห์อันตรายเบื้องต้น: เทคนิคชี้บ่งอันตรายเพื่อป้องกันอุบัติเหตุจากงาน. วารสาร มฉก.วิชาการ 2562 มค-มิย ; 23(1) : 161-172.
3. B. K. Rout, B.K. Sikdar. Hazard Identification, Risk Assessment, and Control Measures as an Effective Tool of Occupational Health Assessment of Hazardous Process in an Iron Ore Pelletizing Industry. Indian J Occup Environ Med [PMC5844132] 2017 May-Aug ; 21(2) : [21 screens]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5844132/> Accessed December 23, 2019.

4. สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนครราชสีมา. รายงานความเคลื่อนไหวการลงทุนด้านอุตสาหกรรม. 2561 มีค. สืบค้นจาก <http://www.industry.go.th/akhonratchasima/index.php>
5. Gould J. Review of Hazard Identification Techniques. Sheffield: Crown copyright, 2000.
6. Jafari D, Kazemipour H. A Model to Select the Best Risk Analysis Method Using Analytical Network Process (ANP). Intl J Basic Sci Appl Res 2016 Jan ; 5(1) : 42-61.
7. Frack P. Loss Prevention in the Process Industries Volume 1. Oxford: Reed Education and Professional Publishing Ltd, 1996.
8. Frack P. Loss Prevention in the Process Industries Volume 2, Oxford: Reed Education and Professional Publishing Ltd, 1996.
9. Frack P. Loss Prevention in the Process Industries Volume 3, Oxford: Reed Education and Professional Publishing Ltd, 1996.
10. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการบริหารความเสี่ยง พ.ศ. 2543.

อัตราการเติมน้ำที่เหมาะสมสำหรับเทอร์โมไซฟอนวงจรมีอีวาโปเรเตอร์เป็นหม้อต้ม

Optimum water filling ratio for a closed loop thermosyphon with evaporator as a boiler

ชัยยันต์ ใจบุญมา¹, ธนาพล สุขชนะ^{1*}
Chaiyun Jaiboonma¹, Thanaphol Sukchana^{1*}

Received: 16 April 2020 ; Revised: 18 May 2020 ; Accepted: 10 June 2020

บทคัดย่อ

อัตราการเติมน้ำที่เหมาะสมเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนของเทอร์โมไซฟอนโดยเฉพาะอุปกรณ์รูปแบบใหม่ การศึกษาเชิงทดลองครั้งนี้เพื่อทดสอบหาอัตราการเติมน้ำเป็นสารทำงานที่เหมาะสมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของเทอร์โมไซฟอนระบบปิดที่มีอีวาโปเรเตอร์มีลักษณะเป็นหม้อต้ม โดยอีวาโปเรเตอร์มีปริมาตรประมาณ 95% ของระบบ ทดลองด้วยฟลักซ์ความร้อนคงที่เท่ากับ 50, 75 และ 100 kW/m² อัตราการเติมน้ำอยู่ในช่วง 5–12% ของปริมาตรทั้งระบบ คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำเย็นที่มีอัตราการไหลเชิงมวลและอุณหภูมิทางเข้าคงที่ จากผลการทดลองพบว่าอัตราการเติมน้ำเป็นสารทำงานเท่ากับ 7% มีความเหมาะสมสำหรับเทอร์โมไซฟอนวงจรมีอีวาโปเรเตอร์เป็นหม้อต้ม โดยมีค่าความต้านทานความร้อนรวมต่ำสุดด้วยฟลักซ์ความร้อน 100 kW/m² เท่ากับ 0.062 °C/W ในขณะที่ค่าความต้านทานความร้อนยังคงมีแนวโน้มลดลงเมื่อฟลักซ์ความร้อนเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: หม้อต้ม เทอร์โมไซฟอน อัตราการเติมน้ำ อีวาโปเรเตอร์ ค่าความต้านทานความร้อน

Abstract

The optimum filling ratio of the working fluid is an important parameter for the heat transfer performance of a thermosyphon (TS), especially the new type of equipment. This experimental aim to study the filling ratio of water as a working fluid of a close loop TS with evaporator as a boiler. The evaporator had a volume of approximately 95% of the system. Experiments were performed with constant heat flux of 50, 75 and 100 kW/m². The filling ratio of water was in the range of 5-12% of the system volume. Condenser cooling utilized constant inlet temperature and mass flow rate of cold water. The results showed that the filling ratio of water as a working fluid of 7% is suitable for a micro thermosyphon boiler. Total thermal resistance was lowest when the heat flux was 100 kW/m² of 0.062 °C/W while still tending to decrease as the heat flux increases.

Keywords: boiler, thermosyphon, filling ratio, evaporator, thermal resistance

¹ อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

* ติดต่อ: ton0019@hotmail.com, thanaphol.s@rmutsb.ac.th

¹ Lecture, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Tambon Hantra, Phranakhon Si Ayutthaya 13000 Thailand

* Corresponding author, E-mail: ton0019@hotmail.com, thanaphol.s@rmutsb.ac.th

บทนำ

ในการออกแบบเทอร์โมไซฟอนที่แตกต่างจากรูปแบบทั่วไปนั้น อัตราการเติมหรือปริมาณของสารทำงานภายในนั้นเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญเป็นอันดับต้นๆ ต่อสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนของอุปกรณ์ โดยสารทำงานที่นิยมใช้ในปัจจุบันนั้นมักจะเป็นน้ำหรือสารทำความเย็นชนิดต่างๆ จากงานวิจัยในอดีตพบว่ารูปแบบของเทอร์โมไซฟอนและสารทำงานมีอัตราการเติมที่เหมาะสมแตกต่างกันดังเช่น สารทำงานในกลุ่มของสารทำความเย็น Hagens *et al.*¹ ได้ทดลองอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยอากาศโดยใช้เทอร์โมไซฟอนแบบยาวโดยใช้สารทำความเย็น R134a เป็นสารทำงานและพบว่าเทอร์โมไซฟอนสามารถถ่ายโอนความร้อนได้ดีเมื่ออัตราการเติม R134a ในอีวาโปเรเตอร์อยู่ในช่วง 50–80% ต่อมา Grooten และ Geld² ศึกษาสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนเทอร์โมไซฟอนที่มีความยาวอยู่ในช่วง 1–3 m โดยมีอัตราส่วนความยาวของอีวาโปเรเตอร์อยู่ในช่วง 0.4–0.5 ของความยาว พบว่าอัตราการเติม R134a เป็นสารทำงานมีความเหมาะสมในช่วง 30–62% ของปริมาตรอีวาโปเรเตอร์ Gorecki³ ใช้สารทำความเย็น R134a, R404A และ R407C เป็นสารทำงานในการทดสอบสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนโดยพบว่าสารทำงานต่างชนิดกันจะมีอัตราการเติมที่เหมาะสมแตกต่างกันซึ่ง R134a และ R404A จะมีผลทำให้สมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนสูงด้วยอัตราการเติม 10% ในขณะที่ R407C มีความเหมาะสมที่อัตราการเติมเท่ากับ 30% ของปริมาตรอีวาโปเรเตอร์เช่นกัน Sukchana และ Thadniam⁴ ศึกษาผลของตำแหน่งอีวาโปเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ต่อสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนของเทอร์โมไซฟอนชนิดวงจรโดยใช้ R-134a เป็นสารทำงาน พบว่าอัตราการเติม R-134a ที่เหมาะสมกับสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 100% ของปริมาตรอีวาโปเรเตอร์หรือเท่ากับค่าความสูงของอีวาโปเรเตอร์ Sukchana^{5,6} ทดสอบสมรรถนะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนของอะเดียแบติกยาวเป็น 7.5 เท่าของความยาวส่วนอีวาโปเรเตอร์ โดยใช้สารทำความเย็น R134a, R32, R404a, R407A และ R410 เป็นสารทำงานด้วยอัตราการเติม 20% ของปริมาตรระบบ สำหรับงานวิจัยเทอร์โมไซฟอนที่ใช้น้ำบริสุทธิ์หรือน้ำกลั่นเป็นสารทำงานดังเช่น Aghel *et al.*⁷ ได้ทดลองเทอร์โมไซฟอนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานด้วยอัตราการเติม 75% โดยเพิ่มสมรรถนะได้ 10–17% ด้วยคอนเดนเซอร์แบบไหลขวางหรือตั้งฉาก Jafari *et al.*⁸ ศึกษาตรวจสอบการระเหยของอีวาโปเรเตอร์และการควบแน่นของคอนเดนเซอร์ในเทอร์โมไซฟอนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานด้วยอัตราการเติมในช่วง 8–100% พบว่าอัตราการเติม 16% จะมีค่าความผิดพลาดของสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนน้อยที่สุด Lataoui and Jemni⁹ ได้ทดสอบสมรรถนะของ

เทอร์โมไซฟอนที่ทำด้วยวัสดุเป็นท่อสแตนเลสและใช้น้ำเป็นสารทำงานซึ่งพบว่าปริมาณการเติมสารทำงานเท่ากับ 20% เป็นอัตราการเติมที่เหมาะสม Naresh and Balaji¹⁰ ได้เพิ่มสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนของเทอร์โมไซฟอนด้วยครีประบายความร้อนภายในคอนเดนเซอร์ซึ่งมีน้ำเป็นสารทำงานด้วยอัตราการเติม 50% โดยมีผลทำให้สมรรถนะเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 17% ในปีต่อมา Kim *et al.*¹¹ ได้ศึกษาการเดือดและการควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนที่มีการติดตั้งแนวเอียงโดยเปลี่ยนอัตราการเติมในช่วง 25–100% และพบว่าอัตราการเติมเท่ากับ 50% เป็นอัตราการเติมที่เหมาะสมโดยมีค่าความต้านทานความร้อนรวมต่ำสุด

จากงานวิจัยในอดีตจะเห็นได้ว่าสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนทั้งที่เป็นสารทำความเย็นและน้ำนั้นจะมีอัตราการเติมที่เหมาะสมแตกต่างกันซึ่งมักจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ เช่น รูปแบบหรือรูปร่างของเทอร์โมไซฟอน อุณหภูมิการทำงานที่ต้องการ ฟลักซ์ความร้อน ของไหลเย็นสำหรับการควบแน่น วัสดุท่อและความยาวของท่อ วัตถุประสงค์ในการใช้งาน ลักษณะในการติดตั้ง เป็นต้น เพราะฉะนั้นในการออกแบบสร้างเทอร์โมไซฟอนที่มีรูปแบบ ขนาด และวัตถุประสงค์การใช้งานที่เปลี่ยนไปควรจะต้องมีการทดสอบอัตราการเติมสารทำงานที่เหมาะสมเพื่อสมรรถนะสูงสุดในการใช้งาน สำหรับงานวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองเพื่อหาอัตราการเติมน้ำเป็นสารทำงานที่เหมาะสมของเทอร์โมไซฟอนที่มีรูปแบบเป็นหม้อไอน้ำระบบปิดที่มีการออกแบบสร้างและทดสอบการทำงานไว้โดย Sukchana¹² ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการนำความร้อนไปใช้งาน โดยออกแบบให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหรือเทอร์โมไซฟอนนั้นสามารถรับความร้อนจากแหล่งความร้อนได้หลากหลายรูปแบบดังเช่น จากแหล่งความร้อนทิ้ง จากไฟฟ้า หรือจากเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

การทดลอง

1. อุปกรณ์การทดลอง

เทอร์โมไซฟอนดัง Figure 1 จะมีอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) เป็นหม้อต้มทรงกระบอกทำด้วยท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 123 mm และยาว 250 mm คิดเป็นปริมาตรความจุได้เท่ากับ 2,970 cc โดยมีท่อนำไอระเหยและท่อนำของเหลวกลับเป็นท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (ID) 13.84 mm ยาวรวมเท่ากับ 1,150 mm ซึ่งคิดเป็นปริมาตรความจุได้เท่ากับ 173 cc ปริมาตรรวมของเทอร์โมไซฟอนจะเท่ากับ 3,143 cc อีวาโปเรเตอร์ภายในมีท่อทองแดงขนาด 12.7 mm สำหรับสอตฮีเตอร์ไฟฟ้าเพื่อให้ความร้อนในการทดลอง โดยมีการพัฒนารูปแบบของอุปกรณ์ในการทดลองจาก Sukchana¹² ดัง Figure 2 บริเวณท่อทางออกของไอระเหยให้ใหญ่ขึ้นและมี

ความลาดเอียงเพื่อลดการหมุนวนของไอรระเหยบริเวณรอยต่อระหว่างท่อนำไอรระเหยกับอิวาโปรเรเตอร์ และลดระดับท่อสำหรับสอตฮีเตอร์ให้ต่ำลงติดกับผนังด้านในของอิวาโปรเรเตอร์ ในขณะที่คอนเดนเซอร์ (Condenser) ระบายความร้อนด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิทางเข้าเฉลี่ย 25°C โดยการควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบการทำน้ำเย็น (Chiller) และสามารถปรับอัตราการไหลสูงสุดได้ 15 l/min ควบคุมอัตราการไหลได้ด้วยวาล์วปรับอัตราการไหล (Flow Control Valve) และวาล์วลดความดัน (By Pass Valve) ตรวจสอบอัตราการไหลด้วยวิธีการตวงและชั่งด้วยเครื่องชั่งแบบตัวเลขเทียบกับเวลาเป็นอัตราการไหลเชิงมวลในหน่วย kg/s วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K โดย T1 และ T2 เป็นการวัดอุณหภูมิของเหลวและอุณหภูมิไอน้ำเพื่อนำมาเฉลี่ยเป็นค่าอุณหภูมิของอิวาโปรเรเตอร์ จุดวัดอุณหภูมิ T3, T4, T5 และ T6 เป็นการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ผิวด้านนอกของท่อทองแดงเพื่อใช้สำหรับสังเกตการทำงานเป็นวงจรของเทอร์โมไซฟอนร่วมกับการบันทึกผลการทดลอง สำหรับจุดวัดอุณหภูมิ T7 และ T8 เป็นการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลให้สัมผัสกับน้ำหล่อเย็นโดยตรงเพื่อนำผลต่างอุณหภูมิมาคำนวณหาปริมาณความร้อนที่สามารถถ่ายโอนได้ และใช้เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยในการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของระบบ

2. เงื่อนไขในการทดลอง

ในการทดลองนั้นมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาอัตราการเติมน้ำกลั่นที่เหมาะสมกับเทอร์โมไซฟอนที่ทำการทดลองเพื่อประโยชน์ในการประยุกต์ใช้งานต่อไป เนื่องจากมีการปรับปรุงรูปแบบของเทอร์โมไซฟอน ดัง Figure 2 ซึ่งจากงานวิจัยของ Gedik¹³ ได้สรุปและแนะนำไว้ว่าหากมีการปรับปรุงรูปแบบเทอร์โมไซฟอนให้เปลี่ยนไปจากเดิมหรือเมื่อใช้สารทำงานต่างกันเงื่อนไขในการใช้งานที่เหมาะสมจะแตกต่างกันโดยเฉพาะปริมาณการเติมสารทำงานและการระบายความร้อน เทอร์โมไซฟอนที่ใช้ในการทดลองจะมีปริมาตรของอิวาโปรเรเตอร์ที่มากกว่า 95% ของปริมาตรทั้งระบบ ซึ่งจะทำการทดลองโดยการเติมน้ำกลั่นในอัตราต่ำสุดเท่ากับ 5% ของปริมาตรรวมของระบบจะได้ปริมาตรน้ำเท่ากับ 157 cc เมื่อเติมเข้าไปในอิวาโปรเรเตอร์จะทำให้ระดับน้ำท่วมผิวท่อสำหรับสอตฮีเตอร์ไฟฟ้าพอดี และเติมในอัตราเพิ่มขึ้นเป็น 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12% ตามลำดับ ในแต่ละอัตราการเติมน้ำกลั่นเป็นสารทำงานนั้นจะทดสอบด้วยฟลักซ์ความร้อนคงที่เท่ากับ 50, 75 และ 100 kW/m² โดยใช้ฮีเตอร์ไฟฟ้าที่มีกำลังคงที่ 3 ขนาดคือ 500, 750 และ 1,000 W และความยาวของแท่งฮีเตอร์จะเท่ากับ ความยาวของท่อสำหรับสอตฮีเตอร์พอดี โดยสามารถคำนวณให้เป็นฟลักซ์ความร้อนด้วยสมการที่ (1) และควบคุมกำลังของฮีเตอร์ให้คงที่ได้โดยการควบคุมแรงเคลื่อนของไฟฟ้าให้คงที่เท่ากับ 220 V และใช้อัตราการไหลของน้ำหล่อ

เย็นคงที่เท่ากับ 1000 g/min (16.66×10^{-3} kg/s) ซึ่งจะทำให้ผลต่างอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นทางเข้าและออก อยู่ในช่วง $7-14^{\circ}\text{C}$ โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะในการแลกเปลี่ยนความร้อนของคอนเดนเซอร์

3. เครื่องมือวัดผลการทดลอง

เครื่องมือวัดที่สำคัญในการทดลองประกอบด้วยสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากับ (Error) $\pm 0.1\%$ ร่วมกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) ยี่ห้อ GRAPHTEC รุ่น GL820 มีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.05\%$ วัดอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำหล่อเย็นด้วยการตวงและชั่งเทียบกับเวลาด้วยเครื่องชั่งแบบตัวเลขรุ่น BL-01 ที่มีย่านการวัด 3,000 g และมีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 1\%$ ในขณะที่ภาระทางความร้อนในการทดลองวัดด้วยเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าด้วยแบบตัวเลขยี่ห้อ MASTECH รุ่น M9805G ซึ่งมีย่านการวัดกระแส 200 A โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 2% ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดในการทดลองนั้นจะเป็นผลทำให้เกิดความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดสูงสุดดัง Table 1

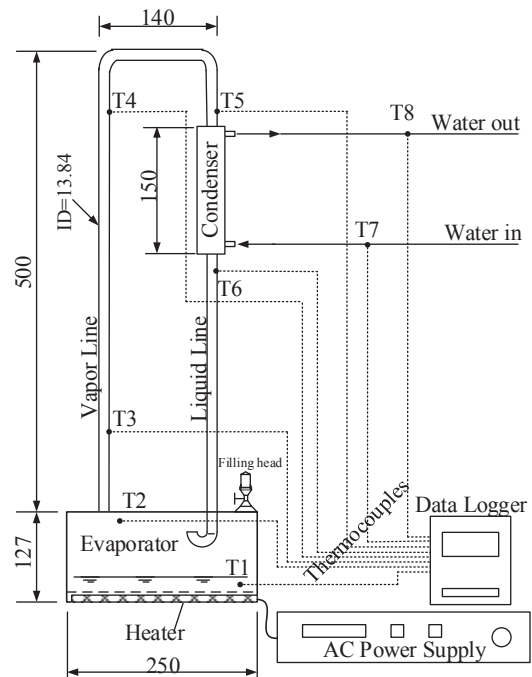


Figure 1 Diagram of a thermosyphon with evaporator as a boiler

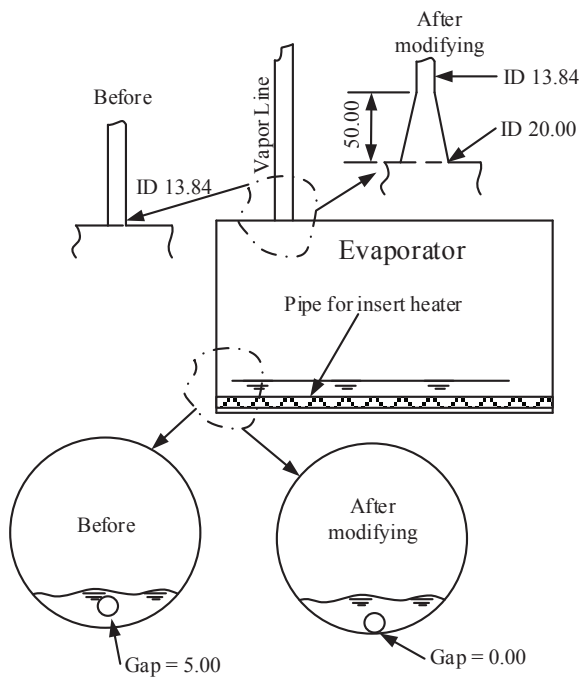


Figure 2 Development of vapor line and pipe for insert the heater

Table 1 The uncertainty of the parameters from the measurements in the experiment

Parameters	Maximum uncertainties
Temperature	± 0.14 °C
Cooling water mass flow rate	± 0.166 × 10 ⁻³ kg/s
Heat load	± 10.0 W (0.1 kW/m ²)

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในการทดลองเพื่อหาอัตราการเติมน้ำที่เหมาะสมนั้น จะใช้รูปแบบท่อของเหลวไหลกลับที่มีส่วนปลายโค้งเป็นตัวยู¹² ซึ่งเป็นลักษณะการออกแบบที่ทำให้สารทำงานในหม้อน้ำ วงจรปิดไหลได้ครบวงจรเช่นเดียวกับเทอร์โมไซฟอนชนิด วงจรทั่วไป โดยเริ่มการทดลองจากการคำนวณปริมาณความร้อน (q_{boil} , W) เพื่อตรวจสอบว่าการเติมน้ำกลั่นในอัตราต่ำสุด เท่ากับ 5% สามารถใช้กับปริมาณความร้อนขนาด 1,000 W โดยไม่มีการเหือดแห้ง (Dry-out) หรือคำนวณปริมาณความร้อนเป็นฟลักซ์ความร้อน (q) ด้วยสมการที่ (1) ได้เท่ากับ 100 kW/m² และ หาได้จากสมการที่ (2) โดย q_{boil} สามารถคำนวณ ได้ด้วยสมการที่ (3) Sukchana and Pratinthong¹⁴ ซึ่งเป็น สมการที่สามารถใช้กับสารทำงานที่มีสถานะของเหลวทั่วไป และได้ผลการคำนวณดังใน Figure 3 พบว่าฟลักซ์ความร้อน ที่สามารถใช้ได้จริงสูงกว่าฟลักซ์ความร้อนที่ใช้ในการทดลอง ประมาณ 10–25 เท่า ซึ่งฟลักซ์ความร้อนจากการคำนวณ

นั้นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมของสารทำงานโดยปริมาณ ของสารทำงานชั้นต่ำนั้นจะต้องมีระดับสูงกว่าระดับของ ฮีทเตอร์ที่สอดเข้าไปในฮีวาโปรเรเตอร์ จากนั้นเริ่มการทดลองโดย เปลี่ยนแปลงอัตราการเติมสารทำงานและให้ ฟลักซ์ความร้อน คงที่เท่ากับ 75 kW/m² คำนวณหาอัตราการถ่ายโอนความร้อน ด้วยสมการที่ (4)¹² สุดท้ายทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลง ฟลักซ์ความร้อนสำหรับทุกๆ อัตราการเติมสารทำงาน และเปรียบเทียบสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนของเท ออร์โมไซฟอนด้วยสมการที่ (5) และค่าความต้านทานความ ร้อนรวมซึ่งสามารถคำนวณด้วยสมการที่ (6)¹² เพื่อเป็นการ พิจารณาอัตราการเติมที่เหมาะสมด้วยค่าความต้านทาน ความร้อนรวมทั้งระบบ

$$q = \frac{Q_{evap}}{S_E} \tag{1}$$

$$q_{evap} = V \cdot I \tag{2}$$

โดยที่ q คือฟลักซ์ความร้อน (kW/m²), Q_{evap} คือปริมาณ ความร้อนที่ให้ในฮีวาโปรเรเตอร์ (kW), V คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ ป้อนให้ฮีทเตอร์ (220 V), I กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ขณะฮีทเตอร์ ทำงาน (Ampere) และ S_E คือพื้นที่ผิวของท่อให้ความร้อนใน ฮีวาโปรเรเตอร์ (m²)

$$q_{boil} = 0.12h_{fg}S_E(\rho_v)^{0.5}[\sigma g(\rho_l - \rho_v)]^{0.25} \tag{3}$$

โดยที่ g คืออัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s²), h_{fg} คือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (kJ/kg), ρ_l, ρ_v คือความหนาแน่นของน้ำและไอน้ำ (kg/m³) และ σ คือแรงตึงผิวของของไหล (mN/m)

$$Q_{cond} = mc_p(T8 - T7) \tag{4}$$

$$\eta = \frac{Q_{cond}}{Q_{evap}} \tag{5}$$

โดยที่ Q_{cond} คือปริมาณความร้อนที่สามารถถ่ายโอน ได้บริเวณคอนเดนเซอร์ (W), m คืออัตราการไหลเชิงมวลของ น้ำหล่อเย็น (kg/s), c_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของ น้ำหล่อเย็น (kJ/kg.°C), s คือผลต่างของอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น (°C)

$$Z = \frac{\Delta T}{Q_{cond}} \quad (6)$$

โดยที่ คือค่าความต้านทานความร้อนรวม (°C/W), ΔT คือผลต่างของอุณหภูมิอิวาโปรเรเตอร์กับคอนเดนเซอร์ (°C), ซึ่ง $\Delta T = \left[\frac{T1+T2}{2} - \frac{T7+T8}{2} \right]$

1. สมรรถนะการถ่ายโอนความร้อน

เป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นและการหุ้มฉนวนกันความร้อนว่ามีผลต่อสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนของอุปกรณ์ทดลองหรือไม่ โดยทดสอบด้วยอัตราการไหลเท่ากับ 1000 g/min (คิดเป็นอัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ 16.66 g/s) ฟลักซ์ความร้อนคงที่เท่ากับ 50, 75 และ 100 kW/m² ด้วยอัตราการเติมสารทำงานเท่ากับ 5% ดัง Figure 4 จะเห็นได้ว่า ผลต่างของอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นเพิ่มขึ้นตามฟลักซ์ความร้อนที่ให้แก่อิวาโปรเรเตอร์ซึ่งอยู่ในช่วง 7–14°C โดยมีอัตราส่วนของความร้อนที่ถ่ายโอนได้ต่อความร้อนที่ให้ (Q_{cond} / Q_{evap}) เฉลี่ย 96% ทั้ง 3 ฟลักซ์ความร้อนที่ทำการทดสอบ ซึ่งอยู่ในช่วง 94–97% จากงานวิจัยเดิมของ Sukchana¹² ที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานเช่นกัน แสดงว่าการหุ้มฉนวนของอุปกรณ์ทดลองนั้นสามารถป้องกันการสูญเสียความร้อนได้เป็นอย่างดีและอยู่ในเกณฑ์ที่ดีของการทดลองทางวิศวกรรม¹⁵ และยังพบว่าอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่ใช้ทดลองนั้นไม่มีผลต่อสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนเมื่อฟลักซ์ความร้อนอยู่ในช่วง 50 ถึง 100 kW/m² ทั้งนี้รูปแบบของเทอร์โมไซฟอนที่ทำการทดลองนั้นเพื่อการนำความร้อนไปใช้งานจึงต้องหุ้มฉนวนให้สามารถนำความร้อนไปยังคอนเดนเซอร์ได้ดีกว่าเทอร์โมไซฟอนที่ใช้สำหรับระบายความร้อนทั่วไปเช่น^{1, 2, 6} เป็นการทดสอบเทอร์โมไซฟอนที่ออกแบบเพื่อวัตถุประสงค์ในการระบายความร้อนและใช้สารทำความเย็นเป็นสารทำงาน ซึ่งพบว่าสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนหรือความร้อนที่ถ่ายเทได้บริเวณคอนเดนเซอร์มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 50 - 80 %

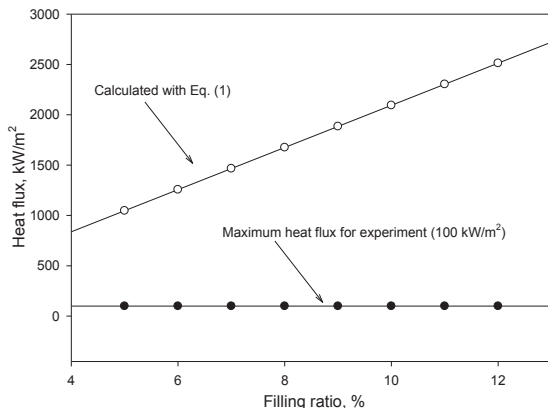


Figure 3 The maximum heat flux that can be used in the experiment

2. ผลกระทบต่ออุณหภูมิอิวาโปรเรเตอร์

การทดลองโดยการเติมน้ำกลั่นด้วยอัตราการเติมอยู่ในช่วง 5–12% โดยปริมาตรรวมของระบบและเป็นการทำงานภายใต้สภาวะอากาศ โดยทดลองกับฟลักซ์ความร้อนคงที่เท่ากับ 50, 75 และ 100 kW/m² ด้วยอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำหล่อเย็นคงที่เท่ากับ 16.66 × 10⁻³ kg/s ผลการทดลองดัง Figure 5 โดยเมื่อพิจารณาอัตราการเติมคงที่ที่จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอิวาโปรเรเตอร์หรือจุดเดือดของน้ำ (T1+T2) / 2 สูงขึ้นเมื่อได้รับฟลักซ์ความร้อนที่มากขึ้นซึ่งเป็นผลจากความดันภายในระบบที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามอัตราการเกิดไอระเหยที่เพิ่มขึ้นด้วยฟลักซ์ความร้อนที่ได้รับ และเมื่อพิจารณาฟลักซ์ความร้อนคงที่จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของอิวาโปรเรเตอร์มีแนวโน้มคงที่ในช่วงอัตราการเติมต่ำๆ และเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราการเติมมากกว่า 7% ซึ่งเป็นผลจากปริมาณของน้ำภายในอิวาโปรเรเตอร์ที่ทำให้ปริมาตรช่องว่างที่เหลือในระบบมีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดไอระเหย เมื่อพิจารณาฟลักซ์ความร้อนคงที่เท่ากับ 100 kW/m² แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอิวาโปรเรเตอร์สูงมากขึ้นเมื่ออัตราการเติมมากกว่า 9% เนื่องจากอัตราการเติมของสารทำงานนั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรช่องว่างที่เหลือในระบบไม่สัมพันธ์กับอัตราการระเหยของไอน้ำ จึงทำให้ความดันในระบบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งจะแสดงผลเป็นอุณหภูมิอิวาโปรเรเตอร์ที่สูงขึ้นตามความสัมพันธ์กันทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำงานภายใต้ความดันและอุณหภูมิในภาชนะปิดซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กัน

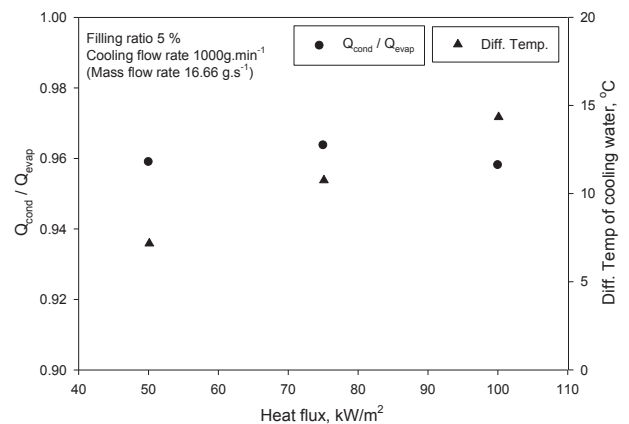


Figure 4 Heat transfer performance of the experimental equipment

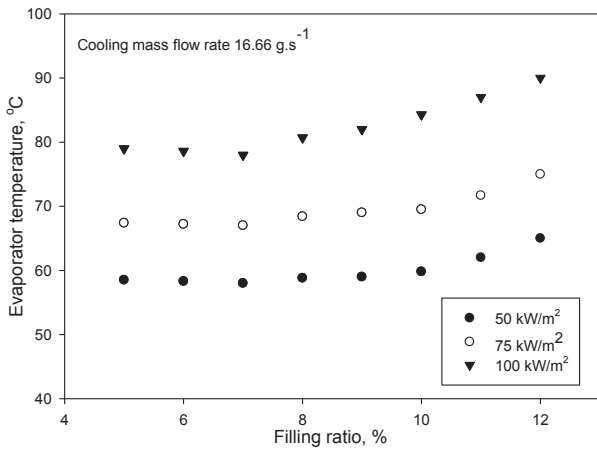


Figure 5 Effect of heat flux and filling ratio on the evaporator temperature

3. ผลกระทบต่อค่าความต้านทานความร้อนรวม

เมื่อพิจารณาผลของอัตราการเติมต่อค่าความต้านทานความร้อนรวมดัง Figure 6 โดยคำนวณด้วยสมการที่ (6) และใช้ปริมาณความร้อนที่สามารถถ่ายโอนได้บริเวณคอนเดนเซอร์คำนวณได้จากสมการที่ (4) ซึ่งการใช้ค่าความร้อนที่สามารถถ่ายโอนได้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนนั้นจะมีความถูกต้องสูงกว่าการใช้ค่าความร้อนที่ให้บริเวณอีวาโปเรเตอร์ในการคำนวณเนื่องจากเป็นความร้อนที่ผ่านการสูญเสียและความต้านทานรวมของระบบมาแล้ว¹² จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานความร้อนรวมลดลงเมื่ออัตราการเติมเพิ่มขึ้นซึ่งพบว่าอัตราการเติม 7% มีค่าความต้านทานความร้อนรวมต่ำที่สุดทั้ง 3 ฟลักซ์ความร้อนที่ทำการทดลองซึ่งเป็นจุดเหมาะสมในการใช้งานทั้งอัตราการเติม ฟลักซ์ความร้อน และอุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์ และเมื่อพิจารณาฟลักซ์ความร้อนใน Figure 7 พบว่าในการทดลองด้วยอัตราการเติมเท่ากันเมื่อฟลักซ์ความร้อนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความต้านทานความร้อนรวมลดลงและมีแนวโน้มลดลงได้อีกหากฟลักซ์ความร้อนสูงกว่า 100 kW/m² เนื่องจากอัตราการเติม 7% นั้นสามารถรับฟลักซ์ความร้อนได้สูงถึง 1,400 kW/m² หรือประมาณ 14 เท่าของฟลักซ์ความร้อนสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง (ดู Figure 2) นอกจากนี้แล้วยังมีสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ด้านอุณหภูมิวิกฤตที่สูงกว่า 300 °C จึงสามารถใช้กับฟลักซ์ความร้อนสูงได้ดี ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่า Z ต่ำสุดเท่ากับ 0.062 °C/W ด้วยฟลักซ์ความร้อนเท่ากับ 100 kW/m² และอัตราการเติมเท่ากับ 7% ของปริมาตรรวมภายในเทอร์โมไซฟอน ซึ่งผลการทดลองก่อนการปรับปรุงอีวาโปเรเตอร์¹² นั้นได้ค่า Z ต่ำสุดเท่ากับ 0.065 °C/W และอัตราการเติมที่เหมาะสมเท่ากับ 10% ด้วยฟลักซ์ความร้อน 100 kW/m² เท่ากัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงท่อทางเดินของ

ไอรระเหยและตำแหน่งของการให้ความร้อนนั้นมีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนรวมและอัตราการเติมสารทำงานที่ลดลง

4. ความสัมพันธ์ของตัวแปรและผลการทดลอง

ความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองประกอบด้วย อัตราการเติม ฟลักซ์ความร้อน ที่มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนรวมของเทอร์โมไซฟอนที่มีอีวาโปเรเตอร์เป็นหม้อต้ม ซึ่งจะเป็นพื้นผิวความสัมพันธ์ของตัวแปรดัง Figure 8 จะเห็นได้ว่าอัตราการเติมน้ำเป็นสารทำงานนั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานความร้อนรวมน้อยกว่าฟลักซ์ความร้อน โดยฟลักซ์ความร้อนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานความร้อนน้อยลงเมื่อมีค่ามากกว่า 75 kW/m² และอัตราการเติมที่เหมาะสมนั้นอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อฟลักซ์ความร้อนสูงกว่าการทดลองในครั้งนี้หรือเข้าใกล้ปริมาณความร้อน q_{boil} ของแต่ละอัตราการเติม นอกจากนี้ปริมาณการเติมสารทำงานนั้นต้องสัมพันธ์กับตำแหน่งของการให้ความร้อนแก่อีวาโปเรเตอร์เนื่องจากอุปกรณ์ทดลองมีลักษณะของอีวาโปเรเตอร์เป็นหม้อต้มโดยต้องมีระดับสูงกว่าตำแหน่งการให้ความร้อนเล็กน้อย ดังผลการวิจัยครั้งนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อตำแหน่งการให้ความร้อนต่ำลงมีผลต่ออัตราการเติมสารทำงานที่ลดลงด้วย ทั้งนี้อัตราการเติมของสารทำงานนั้นจะต้องพิจารณาควบคู่กับฟลักซ์ความร้อนใช้งานและปริมาณความร้อนที่สารทำงานสามารถใช้งานได้ตามอัตราการเติม โดยเฉลี่ยอัตราการเติมน้ำเป็นสารทำงานจากผลการทดลองที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานความร้อนรวมเพียงเล็กน้อยจะอยู่ในช่วงอัตราการเติมเท่ากับ 5 - 10%

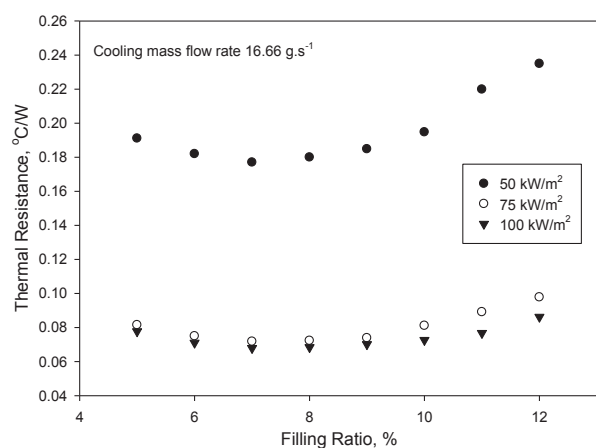


Figure 6 Total thermal resistance with different of heat flux and filling ratio

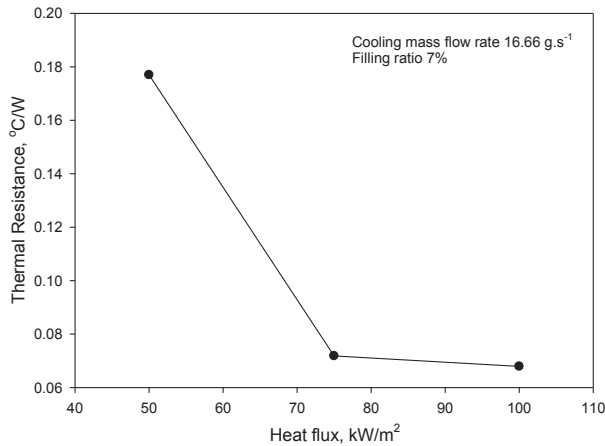


Figure 7 Thermal resistance with filling ratio of 7%

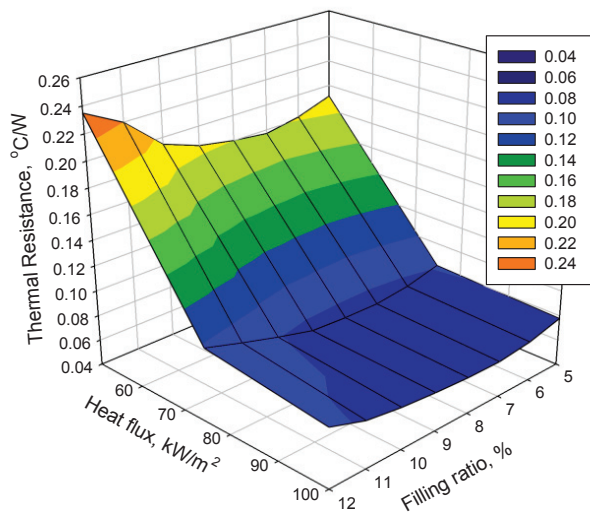


Figure 8 The relations of heat flux filling ratio and total thermal resistance

สรุปผลการทดลอง

การทดลองเพื่อหาอัตราการเติมน้ำกลั่นเป็นสารทำงานที่เหมาะสมกับหม้อไอน้ำแบบเทอร์โมไซฟอนด้วยอัตราการเติมในช่วง 5–12% พบว่าที่อัตราการเติม 7% นั้นมีผลทำให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงกว่าอัตราการเติมอื่นๆ ในการทดลองโดยพิจารณาจากค่าความต้านทานความร้อนรวม ซึ่งจากการทดลองด้วยฟลักซ์ความร้อนสูงสุดเท่ากับ 100 kW/m² พบว่าค่าความต้านทานความร้อนรวมยังคงมีแนวโน้มลดลงซึ่งแสดงว่าเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราไหลเป็นหม้อต้มนั้นยังคงมีประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อนที่ดีขึ้นเมื่อให้ฟลักซ์ความร้อนสูงกว่า 100 kW/m² ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งานว่าต้องการอุณหภูมิของไอน้ำเท่าใดก็จะสามารถคำนวณหา ฟลักซ์ความร้อนใช้งานได้ด้วยค่าความต้านทานความร้อนรวม โดยการทดลองในครั้งนี้พบค่าความต้านทานความร้อนรวมต่ำสุดเท่ากับ 0.062 °C/W ด้วยอัตราการเติม 7% และฟลักซ์ความร้อน 100 kW/m² นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการเติม

ในช่วง 5 - 10% กระทบต่อผลต่างของค่าความต้านทานความร้อนเพียงเล็กน้อยโดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่ทำการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Hagens, H., Ganzevles, F.L.A., Van Der Geld, C.W.M. and Grooten, M.H.M. Air heat exchangers with long heat pipes: experiments and predictions. *Applied Thermal Engineering*. 2007 ; 27: 2426–2434.
- Grooten, M.H.M. and Geld, C.W.M. Predicting heat transfer in long, r-134a filled thermosyphons. *ASME Journal of Heat Transfer*. 2009 ; 131: 1-9.
- Gorecki, G. Investigation of two-phase thermosyphon performance filled with modern HFC refrigerants. *Heat and Mass Transfer*. 2018 ; 54: 2131–2143.
- Sukchana, T. and Thadniam, V. Effect of position of evaporator and condenser on heat transfer performance of r-134a loop thermosyphon. *UBU Engineering Journal*. 2019 ; 12 (1) : 25–33. (In Thai).
- Sukchana, T. Heat Transfer Performance of a Single-Pipe Thermosyphon with adiabatic length of 7.5le employing environmentally friendly refrigerant as a working fluid. *KMUTT Research and Development Journal*. 2019 ; 42 (4) : 345–388. (In Thai).
- Sukchana, T. Study of heat transfer performance of a loop thermosyphon using an environment-friendly refrigerants as a working fluid. *The Journal of KMUTNB*. 2020 ; 30 (2) : 199–208. (In Thai).
- Aghel, B., Rahimi, M., and Almasi, S. Heat transfer enhancement of two-phase closed thermosyphon using a novel cross-flow condenser. *Heat Mass Transfer*. 2017 ; 53: 765–773.
- Jafari, D., Marco, P.Di., Filippeschi, S., Franco, A. An experimental investigation on the evaporation and condensation heat transfer of two-phase closed thermosyphons. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2017 ; 88: 111–123.
- Lataoui, Z., Jemni, A. Experimental investigation of a stainless steel two-phase closed thermosyphon. *Applied Thermal Engineering*. 2017 ; 121: 721–727.
- Naresh, Y., Balaji, C. Experimental investigations of heat transfer from an internally finned two phase closed thermosyphon. *Applied Thermal Engineering*. 2017 ; 112: 1658–1666.

11. Kima, Y., Shina, D.H., Kima, J.S., Youb, S.M., Leea, J. Boiling and condensation heat transfer of inclined two-phase closed thermosyphon with various filling ratios. *Applied Thermal Engineering*.2018 ; 145: 328–342.
12. Sukchana, T. Design, construction and testing of a horizontal thermosyphon boiler. *KMUTT Research and Development Journal*. 2020 ; 43 (1) : 67–78. (In Thai).
13. Gedik, E. Experimental Investigation of the Thermal Performance of a Two-Phase Closed Thermosyphon at Different Operating Conditions. *Energy and Buildings*. 2016 ; 127: 1096–1107.
14. Sukchana, T., and Pratinthong, N. Effect of bending position on heat transfer performance of R-134a two-phase close loop thermosyphon with an adiabatic section using flexible hoses. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2017 ; 114: 527–535.
15. Taylor, J.R. *An introduction to error analysis: The study of uncertainties in physical measurements ; University Sci. Book ; 1997.*

ท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพรุนสำหรับลดความชื้นข้าวเปลือก

Heat pipe with wicks for paddy dehydration

สถิตพงษ์ เสงี่ยมศักดิ์^{1*}, สุพัตรา บูโธสง¹, วิริยะ แดงทน¹
Satitpong Sangiamsuk^{1*}, Supattra Boothaisong¹, Wiriya Dangton¹

Received: 14 April 2020 ; Revised: 18 May 2020 ; Accepted: 5 June 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกด้วยท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพรุนภายใน ที่ใช้สารทำงาน R-134a และ R-11 โดยมีอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหย 60°C และ 80°C เพื่อลดความชื้นให้ข้าวเปลือกสายพันธุ์ ข้าว กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 ซึ่งข้าวเปลือกที่นำมาใช้ในการทดลองมีความชื้นเริ่มต้นที่ 23% และทำการทดลองลดความชื้นของข้าวเปลือกให้เหลือ 12% จากการทดลองพบว่า หากเพิ่มอุณหภูมิขาเข้าที่ส่วนทำระเหยจาก 60°C เป็น 80°C จะทำให้ระยะเวลาในการลดความชื้นลดลง แต่พบว่าที่อุณหภูมิ 60°C จะเหมาะสมที่สุด เพราะอุณหภูมิที่สูงจะส่งผลต่อความชื้นที่ลดลงภายในเมล็ดพันธุ์ข้าวเร็วเกินไป จึงทำให้เกิดการแตกหักได้ง่าย และเมื่อนำข้าวเปลือกไปทดสอบการงอก จะพบว่าอุณหภูมิที่ 60°C ของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด ของข้าว กข6 จะมีเปอร์เซ็นต์การงอกที่ดีที่สุด อยู่ที่ 69 - 84% และข้าวดอกมะลิ 105 จะมีเปอร์เซ็นต์การงอกอยู่ที่ 53 - 72% เมื่อทำการทดลองเปลี่ยนสารทำงานภายในท่อความร้อน จะพบว่าสารทำงาน R-134a จะใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นข้าวเปลือกได้เร็วกว่า R-11 และทางผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพรุนและไม่ติดตั้งวัสดุพรุน พบว่าท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพรุนจะมีระยะเวลาในการลดความชื้นเร็วกว่าท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งวัสดุพรุน เนื่องจากวัสดุพรุนได้นำความร้อนจากส่วนทำระเหยมายังส่วนควบแน่นได้ดี จึงทำให้ลดความชื้นได้เร็วกว่าท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งวัสดุพรุน

คำสำคัญ: ท่อความร้อน วัสดุพรุน ความชื้น ข้าวเปลือก

Abstract

This research aims to study and develop a process to decrease the moisture content of paddy seed by heat pipe with wicks. It used working fluid R-134a and R-11 with temperatures at the evaporator section of 60°C or 80°C. It reduced the moisture content of the paddy (Glutinous rice, RD6 and jasmine rice, KDML105). The paddy used in the experiment had an initial moisture content of 23% and decreased dehumidification to 12%. It was found that when the inlet temperature at the evaporator section increased from 60 to 80°C it will reduce the duration of moisture reduction and it was found that the temperature of 60°C was most appropriate because higher temperatures will affect the moisture decrease within the grain too quickly. It makes the fracture easy, when paddy was used in a germination test. We found that a temperature at 60°C of all variables used in the experiment with glutinous rice RD6 had percent of germination of about 69 - 84% and for jasmine rice 105 it was about 53 - 72%. The experiment compared the working fluid inside the heat pipe and found that R-134a decreased moisture content of the paddy faster than R-11. We compared heat pipes with and without wicks. It was found that the heat pipe with wicks had a shorter dehumidification time than the heat pipe without wicks because wick materials transported heat from the evaporator section to the condenser section as well. Therefore, the dehumidification is faster than with the heat pipe without wicks.

Keywords: Heat pipe, Wick, Moisture, Paddy

¹ อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ตำบลกาฬสินธุ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000,

¹ Lecturer, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Kalasin Sub-District, Meuang District, Kalasin 46000, Thailand.

* Corresponding author ; Satitpong Sangiamsuk, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Kalasin Sub-District, Meuang District, Kalasin 46000, Thailand. satitpong.sa@ksu.ac.th

บทนำ

เนื่องจากในประเทศไทย เป็นอีกหนึ่งประเทศที่มีชื่อทางด้านเกษตรกรรมที่หลากหลาย เช่น ข้าว มันสำปะหลัง ยางพารา และปาล์ม เป็นต้น แต่ข้าวถือว่าเป็นธัญญาหารของไทย และในแถบภูมิภาคเอเชีย ที่ต้องกิน และบริโภคทุกๆ วัน ข้าวไทยถือว่าเป็นข้าวที่มีคุณภาพดีกว่าประเทศอื่นมาก ทั้งรสชาติ ความนุ่ม ความหอม เช่น ข้าวหอมมะลิ นับว่าเป็นเอกลักษณ์ของไทยเรา เราจึงเห็นความสำคัญของเกษตรกรที่ทำการปลูกข้าวเป็นอาชีพหลัก ทุกปีหลังการเก็บเกี่ยวข้าวเสร็จ เกษตรกรจะเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกไว้เพื่อใช้ในการเพาะปลูกปีถัดไป การเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกไว้นั้นต้องนำเมล็ดข้าวไปตากแดดให้แห้งจึงจะเก็บรักษาไว้ได้ ถ้าเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกไว้โดยไม่นำไปตากแดดก่อน เมื่อนำเมล็ดข้าวเปลือกมากองรวมกันไว้จะทำให้เมล็ดข้าวเปลือกมีความชื้นมาก และมีราเกิดขึ้นได้ เนื่องจากเมล็ดข้าวเปลือกนั้นยังมีกระบวนการหายใจ ทำให้กองข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น และเหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่างๆ มีผลทำให้เมล็ดข้าวเสื่อมคุณภาพ เช่น ข้าวงอก เกิดข้าวเน่า ข้าวบูด เพราะในเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกนั้นยังมีความชื้นสูง ในช่วงเก็บเกี่ยวข้าวเปลือกนั้นมีความชื้นประมาณ 20-25% เราจึงต้องทำการลดความชื้นของเมล็ดข้าวให้เหลือประมาณ 12% สำหรับการเก็บข้าวไว้นาน 3-5 เดือน ซึ่งมีวิธีที่จะนำมาใช้ในการลดความชื้นข้าวเปลือกได้ก็คือ การอบแห้ง (drying) การอบแห้งข้าวเปลือกสามารถทำได้ด้วยเครื่องอบแห้งหลายชนิด เช่น เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด (spouted-bed dryer)¹ เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซเบด (fluidized-bed dryer)² เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (pneumatic dryer)³ เป็นต้น ซึ่งข้าวเปลือกที่นำมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งดังกล่าวต้องเคลื่อนที่อยู่ในระบบตลอดเวลา ถึงแม้ว่าเครื่องอบแห้งดังกล่าวข้างต้นจะมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานอยู่ในระดับสูง แต่มีความเป็นไปได้ที่ข้าวเปลือกจะได้รับความเสียหาย (แตกหรือหัก) ในระหว่างการเคลื่อนที่ในระบบด้วยเหตุนี้ การอบแห้งข้าวเปลือกโดยที่ข้าวไม่เกิดการเคลื่อนที่จึงเป็นแนวคิดที่น่าสนใจ แนวทางหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยที่ข้าวเปลือกไม่ต้องเคลื่อนที่ในระบบ คือ การใช้ท่อความร้อนเข้ามาช่วยในกระบวนการลดความชื้น

ท่อความร้อน (Heat pipe) คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถถ่ายโอนความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก^{4,5,6} ทำงานโดยใช้หลักการส่งถ่ายความร้อนจากความร้อนแฝงของสารทำงานภายในท่อซึ่งระเหยโดยการได้รับความร้อนแล้วถ่ายโอนความร้อนโดยการควบแน่นเนื่องจากความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำงานมีค่าสูงมาก จึงสามารถถ่ายโอนความร้อนจากปลายด้านหนึ่งไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งได้มากโดยมีอุณหภูมิต่างกันเพียง

เล็กน้อย^{7,8} โดยทั่วไปแล้วท่อความร้อนจะประกอบด้วยส่วนทำระเหย (Evaporator section) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) ดัง Figure 1 ซึ่งเราสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการให้ความร้อนกับข้าวเปลือกเพื่อไล่ความชื้นภายในข้าวเปลือก และยังสามารถทำได้ในทุกสภาวะอากาศแม้ว่าฝนจะตกหรือมีแสงแดดน้อย ใช้พื้นที่น้อย สามารถควบคุมการลดความชื้นให้อยู่ในระดับตามที่ต้องการสามารถควบคุมป้องกันความเสียหายต่อคุณภาพข้าวได้

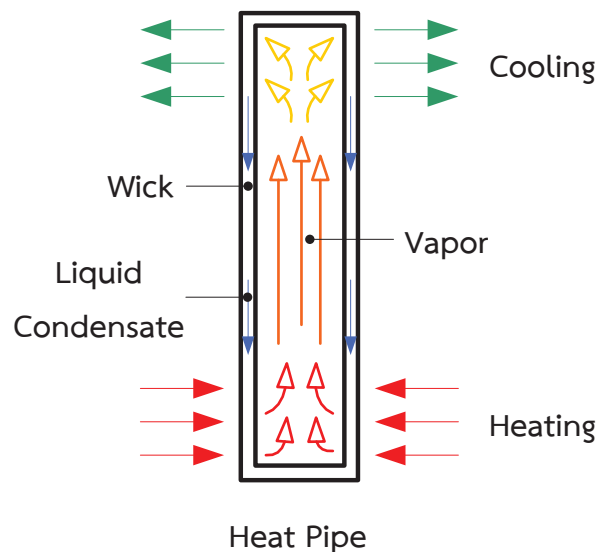


Figure 1 Heat Pipe

ดังนั้นจากที่กล่าวมาในข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะประยุกต์ใช้ท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูนเป็นอุปกรณ์ช่วยในการถ่ายโอนความร้อนสำหรับกระบวนการลดความชื้นของข้าวเปลือก โดยพัฒนาระบบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคโนโลยีท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูนในเชิงของเครื่องต้นแบบ และสร้างเครื่องลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกจากท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูนในการระบายความร้อน เพื่อลดความชื้นให้ได้ตามระดับมาตรฐานในการเก็บรักษา และเพื่อเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรที่ทำอาชีพปลูกข้าวเป็นหลัก อีกประเด็นเพื่อเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าวให้นานที่สุด

วิธีการวิจัย

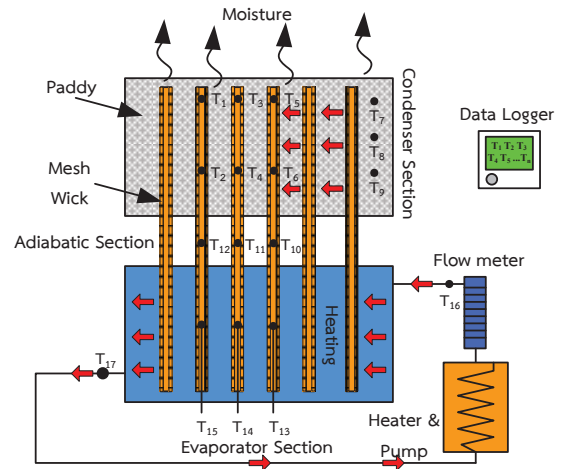
1. อุปกรณ์ในการทดลอง

Figure 2(A), (B) แสดงแผนผังของเครื่องลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกจากท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูน และแสดงระยะห่างของกลุ่มท่อความร้อน ซึ่งกลุ่มของท่อเป็นแบบ staggered โดยมี 9 แถว เริ่มจากด้านข้าง 4 ท่อ ถัดมา 5 ท่อ ตามลำดับ ทั้งหมดใช้ท่อความร้อนจำนวน 40 ท่อ โดย

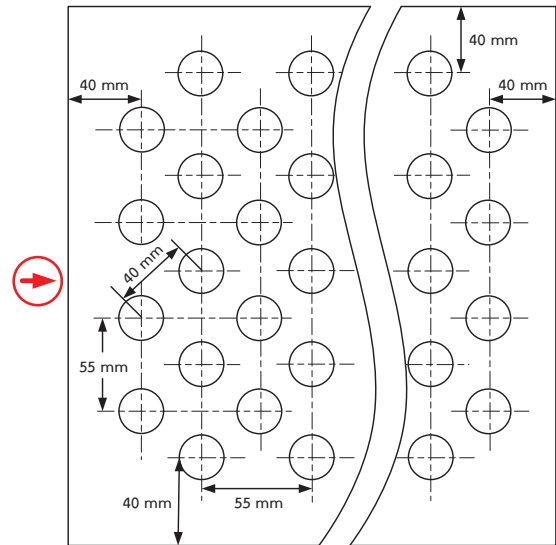
ท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพรุนมีส่วนประกอบหลัก คือ ท่อทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 mm ยาว 750 mm แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย 300 mm ส่วนกั้นความร้อน 150 mm ส่วนควบแน่น 300 mm และภายในท่อความร้อนมีวัสดุพรุนชนิดตาข่ายบรรจุอยู่ ดัง Figure 3 โดยมีความหนาของวัสดุพรุน 1 mm และภายในบรรจุสารทำงาน 50% โดยปริมาตรของท่อความร้อน โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้สารทำความเย็น R-134a และ R-11 เป็นสารทำงาน โดยรายละเอียดของท่อความร้อนที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดัง Table 1

Table 1 Details of heat pipe and experimental conditions

Heat pipe	
Pipe material	Copper pipe
Wick material	Copper mesh
Number of pipes	40
Pipe size	Inner diameter 10 mm and length 750 mm (Evaporator 300 mm, Adiabatic 150 mm, Condenser 300 mm)
Filling ratio	50% by volume of the heat pipe
Experimental conditions	
Types of paddy	RD6 rice and Jasmine Rice, KDML105
Types of Heat pipe	Wick and without wick
Working fluids	R-134a and R-11
Evaporator temperature	60°C and 80°C



(A)



(B)



(C)

Figure 2 Diagram of a dehumidifier of paddy seed by heat pipe with wicks (A), groups of heat pipe (B) and top view of condenser jacket (C)

ท่อความร้อนที่ติดตั้งอยู่ภายในกล่องส่วนทำระเหย จะทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนจากน้ำร้อน โดยน้ำร้อนจะไหลที่อัตราการไหล 1.5 L/min ความร้อนจะเกิดการแลกเปลี่ยนแล้วถ่ายโอนไปยังส่วนควบแน่น ในขณะที่ส่วนควบแน่นจะติดตั้งภายในกล่องบรรจุข้าวเปลือกที่มีขนาดความกว้าง 300 mm ยาว 300 mm และสูง 350 mm ซึ่งอุปกรณ์ในการทดลองจะมีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิที่ได้จากเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger, Zupcon MultiF R5000) โดยตำแหน่งการวัดอุณหภูมิแสดงดัง Figure 2(A) คือตำแหน่งที่ 1-6, 10-12 และ 13-15 วัดอุณหภูมิในส่วนของท่อความร้อน ตำแหน่งที่ 7-9 วัดอุณหภูมิในกองข้าวเปลือก ตำแหน่งที่ 16 กับ 17 วัดอุณหภูมิทางเข้า-ทางออกของน้ำร้อนที่ส่วนทำระเหย โดยตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของท่อความร้อนในการทดลองแสดงไว้ใน Figure 4

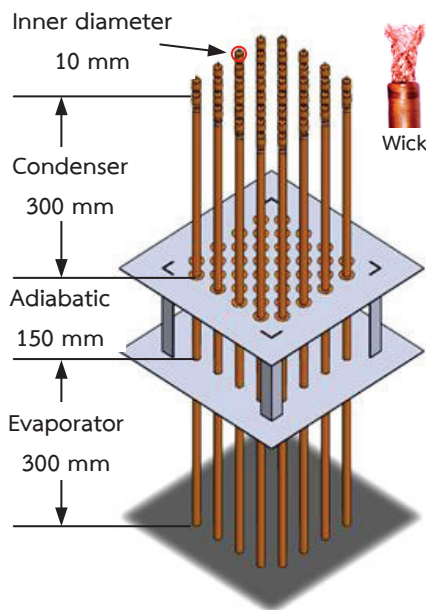


Figure 3 Heat pipe dimensions and wick¹²

2. ข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ ข้าว กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 23% มาตรฐานเปียก จำนวน 15 กิโลกรัมต่อครั้งการทดลอง เป็นผลิตภัณฑ์ทดสอบ โดยความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกเตรียมได้โดยการแช่น้ำผสมกับข้าวเปลือก จากนั้นจึงนำข้าวเปลือกดังกล่าวไปเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 2 วัน หลังจากนั้นจึงนำข้าวเปลือกออกจากตู้เย็นเพื่อผึ่งในบรรยากาศก่อนเริ่มการทดลอง ทั้งนี้เพื่อปรับอุณหภูมิของข้าวเปลือกให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง และปรับความชื้นของข้าวเปลือกให้อยู่ในค่าเดียวกัน และระหว่างการทดลองจะทำการวัดความชื้นของ

เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก ทุกๆ 30 min ด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบเกลียวบิด (Moisture Tester Model TA-5) แสดงค่าเป็นมาตรฐานเปียก

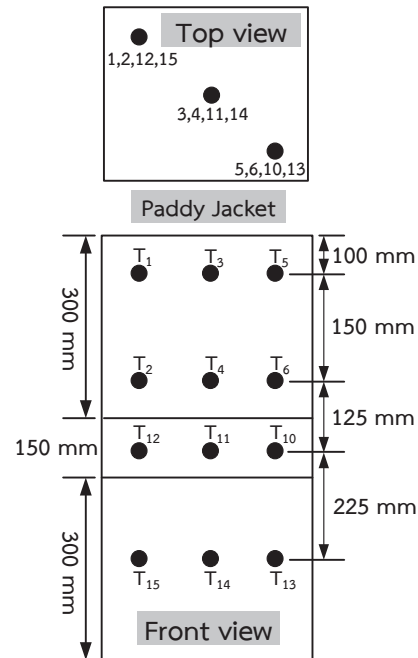


Figure 4 Position of heat pipe temperature measurement

3. วิธีการทดลอง

การทดลองจะเริ่มจากการเตรียมสารทำงานเข้าสู่ท่อความร้อนที่ทำให้เป็นสภาวะอากาศในปริมาตรการเติมสารตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ แล้วก็ประกอบชุดท่อความร้อนทั้ง 40 ชุด จากนั้นทำการติดตั้งเข้ากับแท่นชุดทดลอง โดยให้ท่อในส่วนควบแน่นต่อเข้ากับกล่องบรรจุข้าวเปลือก และท่อที่ส่วนทำระเหยจะต่อเข้ากับชุดให้ความร้อนจากน้ำร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ซึ่งจะมีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของน้ำตามเงื่อนไขการทดลอง โดยที่ด้านน้ำเข้าทำการติดตั้งตัวควบคุมอัตราการไหล (Flow meter, Treatton Z-3001) ไว้ และอีกด้านหนึ่งจะต่อสายยางที่หุ้มฉนวนกันความร้อนไปยังถังเก็บน้ำร้อน โดยภายในถังเก็บน้ำร้อนจะติดตั้งปั๊มน้ำ เพื่อไหลเวียนน้ำในการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในระบบ ในขณะที่อุณหภูมิที่วัดค่า จะได้รับการตรวจวัดอย่างต่อเนื่องด้วยสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K และบันทึกด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger, Zupcon MultiF R5000) โดยการทดลองจะดำเนินการไปจนกระทั่งความชื้นของข้าวเปลือกลดลงเหลือ 12% (มาตรฐานเปียก) ซึ่งวัดได้จากเครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือก การทดลองจะกระทำที่เงื่อนไขดังต่อไปนี้ 1) ชนิดของพันธุ์ข้าวเปลือก ได้แก่ ข้าว กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 2) ท่อความร้อน 2 ชนิด ได้แก่ ท่อที่ติดตั้งวัสดุพอรุน และไม่ติดตั้ง 3) สารทำงาน

ที่ใช้ภายในท่อความร้อน ได้แก่ R-134a และ R-11 4) อุณหภูมิ ส่วนทำระเหย 2 ค่า ได้แก่ 60°C และ 80°C ตามเงื่อนไขการทดลองทั้งหมดซึ่งสรุปไว้ให้เห็นใน Table 1 โดยมีการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละเงื่อนไขการทดลอง

และสำหรับการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การงอก (%) ของเมล็ดข้าวเปลือกโดยการทดสอบความงอกมาตรฐาน (standard germination test) จะใช้วิธีการเพาะเมล็ดพันธุ์ ด้วยทรายที่อุณหภูมิ 25°C ± 2°C จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 100 เมล็ด โดยการตรวจนับจำนวนต้นกล้าปกติจนสิ้นสุดระยะเวลาที่กำหนด ตามหลักการประเมินการงอกของ ISTA (International seed testing association) ⁹ จากนั้นนำข้อมูล มาคำนวณการงอกจากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การงอก (\%)} = \left(\frac{\text{จำนวนต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}} \right) \times 100$$

4. การคำนวณค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อน และค่าประสิทธิภาพ

โดยการหาค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนที่น้ำร้อน ให้ความร้อนแก่ท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหย (Heat source) หรือค่าความร้อนที่รับความร้อนที่ส่วนควบแน่น (Heat sink) โดยการวัดค่าอุณหภูมิที่แตกต่างบริเวณทางเข้าและทางออก ในส่วนทำระเหย จากนั้นจึงนำมาคำนวณหาโดยใช้สมการ (1)

$$Q_{exp} = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (1)$$

เมื่อ

Q_{exp} = การถ่ายโอนความร้อน (W)

\dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg.°C)

T_{out} = อุณหภูมิขาออกของน้ำ (°C)

T_{in} = อุณหภูมิขาเข้าของน้ำ (°C)

สำหรับค่าประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$\eta = \frac{Q_{exp}}{Q_{theory}} \times 100\% \quad (2)$$

โดยค่าการถ่ายโอนความร้อนทางทฤษฎีสามารถคำนวณได้จากสมการ (3) ^{10,11} ซึ่ง ΔT คือผลต่างของอุณหภูมิ ที่วัดที่ผิวของท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น R_{total} คือความต้านทานความร้อนรวม โดยสามารถคำนวณหาได้จาก ผลรวมของวงจรความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance Circuits) ในแต่ละส่วน ที่เกิดขึ้นจากพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น

$$Q_{theory} = \frac{\Delta T}{R_{total}} \quad (3)$$

โดยที่

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9 + R_{10} \quad (4)$$

ซึ่ง R คือ ค่าความต้านทานความร้อนที่เกิดขึ้นกับท่อความร้อนในส่วนต่างๆ (°C/W)

โดยสมการที่ใช้หาค่าความต้านทานความร้อนของท่อความร้อนข้างต้น พบว่าค่าความต้านทาน R_4 , R_5 , R_6 และ R_{10} นั้นมีค่าเชิงปริมาณที่น้อยกว่าหลายเท่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานความร้อนตัวอื่นๆ ดังนั้นในการคำนวณจึงสามารถละเว้นไม่นำมาพิจารณา ^{10,11,12} และนอกจากนี้ยังสามารถละเว้นไม่พิจารณา R_7 และ R_9 เนื่องจากส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นสัมผัสโดยตรงกับแหล่งให้ความร้อน และรับความร้อน และสำหรับท่อความร้อนที่ไม่ได้มีการติดตั้งวัสดุพรุนชนิดตาข่ายภายใน ยังสามารถละเว้นการพิจารณา R_3 และ R_7 ดังสมการ (5) และ (6)

$$Q_{theory} = \frac{\Delta T}{R_2 + R_8} \quad (5)$$

และสำหรับท่อความร้อนที่มีการติดตั้งวัสดุพรุนชนิดตาข่ายภายในหาได้ ดังสมการ (6)

$$Q_{theory} = \frac{\Delta T}{R_2 + R_3 + R_7 + R_8} \quad (6)$$

โดย $R_2 = \frac{\ln(d_o/d_i)}{2\pi k_{tube} L_e}$, $R_8 = \frac{\ln(d_o/d_i)}{2\pi k_{tube} L_c}$ คือ ความต้านทานความร้อนที่เกิดขึ้นที่ผนังท่อที่ส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น และ $R_3 = \frac{\ln(d_i/d_{iw})}{2\pi k_w L_e}$, $R_7 = \frac{\ln(d_i/d_{iw})}{2\pi k_w L_c}$ คือ ความต้านทานความร้อนที่เกิดขึ้นที่วัสดุพรุนชนิดตาข่ายที่ส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น แสดงดัง Figure 5

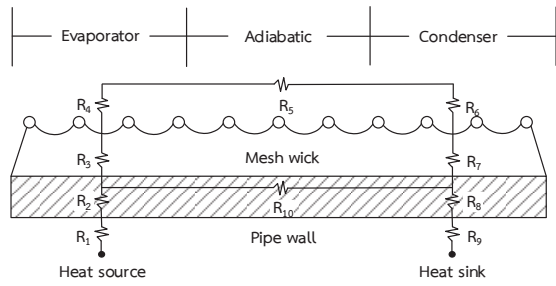


Figure 5 Thermal Resistance Circuits

โดยที่

d_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)

d_o = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ (m)

k_{tube} = ค่าการนำความร้อนของท่อทองแดง (W/m.K)

k_w = ค่าการนำความร้อนของวัสดุพูนชนิดตาข่าย

ทองแดง (W/m.K)

L_e = ความยาวของส่วนทำระเหยของท่อความร้อน

(m)

Q_{theory} = การถ่ายโอนความร้อนทางทฤษฎี (W)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น (K)

η = ค่าประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อน

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดจากการทดลอง จากเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกจากท่อความร้อน โดยใช้สารทำงาน คือ R-134a และ R-11 นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ และเปรียบเทียบการลดลงของความชื้น เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดข้าวเปลือก ค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อน และค่าประสิทธิภาพของท่อความร้อน โดยแบ่งผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. ผลของความชื้นข้าวเปลือก

1.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในกองข้าวเปลือกโดยใช้ท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูน บรรจุสารทำงาน R-134a

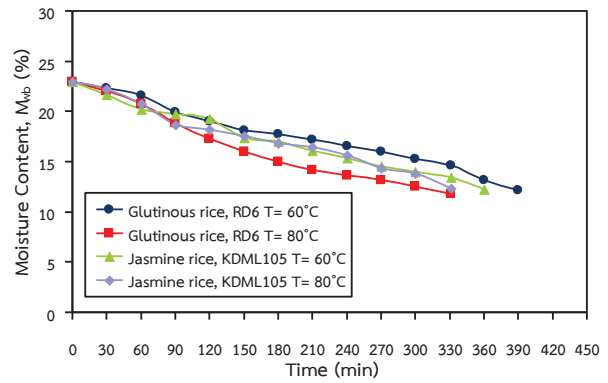


Figure 6 Moisture change of paddy of RD6 rice and Jasmine Rice, KDML105 at temperature 60 and 80°C, working fluid was R-134a

จาก Figure 6 จากการทดลองผลของการลดลงของความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 อุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยของชุดท่อความร้อน คือ 60°C และ 80°C โดยมีความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกจะอยู่ที่ประมาณ 23% มาตรฐานเปียก และต้องการลดความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกให้อยู่ที่ประมาณ 12% มาตรฐานเปียก อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองจะมีผลต่อการลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกเมื่อใช้อุณหภูมิในการทดลองที่สูงก็จะใช้เวลาอันน้อยลง และความชื้นในเมล็ดพันธุ์ก็จะลดลงได้เร็วขึ้น เช่น อุณหภูมิ 80°C ข้าว กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 ใช้เวลาในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกอยู่ที่ 330 min เท่ากัน และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อุณหภูมิทดลองที่ 60°C ก็จะใช้เวลานานขึ้นอยู่ที่ 390 และ 360 min ถึงจะได้ความชื้นในเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกประมาณที่ 12% มาตรฐานเปียก ซึ่งจะพบว่าอุณหภูมิจะเป็นตัวแปรหนึ่งส่งผลต่อการลดลงของความชื้นโดยตรง

1.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในกองข้าวเปลือกโดยใช้ท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูน บรรจุสารทำงาน R-11

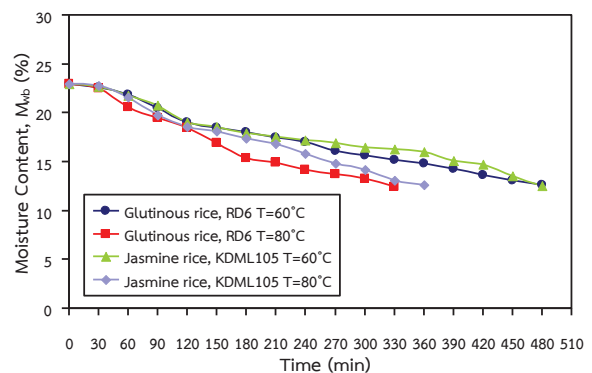


Figure 7 Moisture change of paddy of RD6 rice and Jasmine Rice, KDML105 at temperature 60 and 80°C, working fluid was R-11

จาก Figure 7 จากการทดลองผลของการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 อุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยของชุดท่อความร้อน คือ 60°C และ 80°C โดยภายในท่อความร้อนจะติดตั้งวัสดุพรุนเข้าไป และเติมสารทำงาน R-11 ภายใน ซึ่งพบว่า ที่อุณหภูมิ 80°C ข้าว กข6 ใช้เวลาของการลดความชื้นน้อยกว่าข้าวดอกมะลิ 105 อยู่ที่ 330 และ 360 min เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อุณหภูมิที่ 60°C ก็จะใช้เวลานานขึ้นอยู่ที่ 480 min เท่ากัน ถึงจะทำให้ความชื้นในเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกเหลือประมาณที่ 12% มาตรฐานเปียก

ซึ่งจากข้อมูลการทดลองใน Figure 6 และ 7 พบว่าอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนที่เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลต่อความชื้นที่ลดลง¹³ แต่ก็ยังพบว่าสารทำงานภายในท่อความร้อนที่ใช้ในการทดลอง R-134a ให้การถ่ายโอนความร้อนและแลกเปลี่ยนความร้อนยังส่วนทำระเหยได้ดีกว่าสารทำงาน R-11 ซึ่งจะมีผลต่อการลดลงของความชื้นเช่นกัน เนื่องจากสารทำงาน R-134a มีจุดเดือดที่ต่ำ และมีค่าความจุความร้อนจำเพาะที่สูงกว่า R-11 จึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่า โดยเมื่อสารทำงานเกิดการเดือดในขณะที่ไหลในท่อความร้อน สารทำงานในสถานะของเหลวที่รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอที่มีค่าปริมาตรจำเพาะสูงกว่าในสถานะของเหลว จึงเป็นผลให้ความเร็วในการไหลของสารใน 2 สถานะมีค่ามากขึ้น และส่งผลต่อค่าความหนาของชั้นฟิล์มของของเหลวลดลง และความต้านทานทางความร้อนก็ลดลงด้วย มีผลทำให้การถ่ายโอนความร้อนมีค่าสูงขึ้นตาม โดยสามารถดูได้จาก Figure 8 เมื่อนำข้อมูลของความชื้นของข้าวเปลือกที่ทดลองในอุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C โดยใช้ท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพรุนภายใน และใช้สารทำงานที่แตกต่างกัน คือ R-134a กับ R-11 จะเห็นว่าการลดลงของความชื้นของข้าวเปลือกในท่อที่ใช้สารทำงาน R-134a จะลดลงได้เร็วกว่า R-11

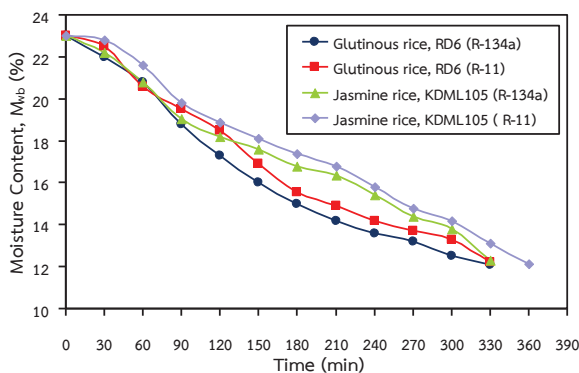


Figure 8 Comparison of moisture change of paddy of RD6 rice, Jasmine Rice, KDML 105 at temperature 80°C with R-134a and R-11 as working fluids

1.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในกองข้าวเปลือกโดยใช้ท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งวัสดุพรุน บรรจूसารทำงาน R-134a

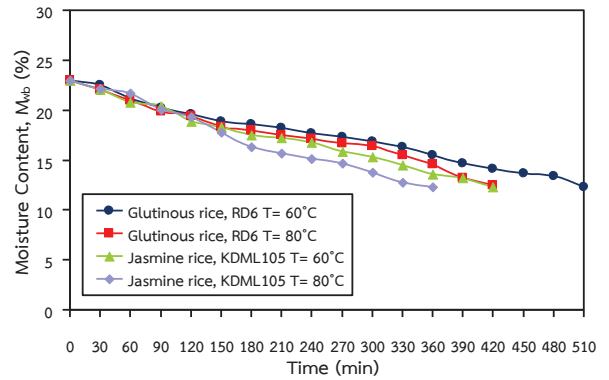


Figure 9 Moisture change of paddy of RD6 rice and Jasmine Rice, KDML105 at temperature 60 and 80°C, working fluid was R-134a

จาก Figure 9 จากการทดลองผลของการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 อุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยของชุดท่อความร้อน คือ 60°C และ 80°C โดยในชุดการทดลองนี้ภายในท่อความร้อนจะไม่มีติดตั้งวัสดุพรุนภายใน เหมือนกับข้อมูลในการทดลองจาก Figure 6 และ 7 พบว่า ที่อุณหภูมิ 80°C ข้าว กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 ใช้เวลาในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกอยู่ที่ 420 และ 360 min และที่อุณหภูมิ 60°C ก็จะใช้เวลานานขึ้นอยู่ที่ 510 และ 420 min ถึงจะได้ความชื้นในเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกประมาณที่ 12% มาตรฐานเปียก

ซึ่งเมื่อนำข้อมูลของชุดท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพรุน กับไม่ติดตั้งวัสดุพรุนมาทำการเปรียบเทียบ ก็จะพบว่าท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพรุนภายในจะส่งผลในการลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ดีกว่าท่อที่ไม่ติดตั้งวัสดุพรุนเนื่องจากวัสดุพรุนที่ติดตั้งเสริมเข้าไป จะช่วยในการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในได้ดีขึ้น และแบ่งสารทำงานที่เกิดจากการควบแน่นแล้ว ไหลลงมายังส่วนทำระเหยใหม่ ไม่ให้เกิดการชนกันของสารทำงานที่เคลื่อนที่ขึ้นไปยังส่วนควบแน่น จึงส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดี

1.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในกองข้าวเปลือก โดยใช้ท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูน บรรจุสารทำงาน R-11

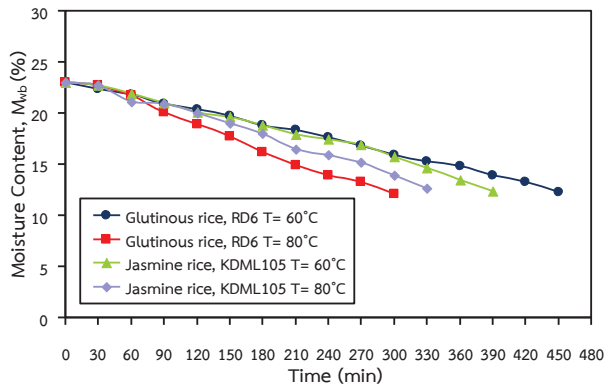










Figure 10 Moisture change of paddy of RD6 rice and Jasmine Rice, KDML105 at temperature 60 and 80°C, working fluid was R-11

Table 2 Shows the germination percentage of RD6 rice and Jasmine Rice, KDML105 at 60°C and 80°C (Heat pipe with wick)

Working Fluids	Evaporator Temp. 60°C (%)	Evaporator Temp. 80°C (%)	Working Fluids	Evaporator Temp. 60°C (%)	Evaporator Temp. 80°C (%)
R-134a	 84	 58	R-11	 69	 60
	 72	 64		 53	 47









2. เปรอร์เซ็นต์การงอกของข้าวเปลือก

2.1 เปรอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 ของสารทำงาน R-134a และ R-11 โดยใช้ท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูน จากTable 2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิ 60°C และ 80°C จะพบว่าที่อุณหภูมิ 60°C จะมีเปอร์เซ็นต์การงอกดีกว่าอุณหภูมิ 80°C เนื่องจากการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกค่อยๆ ลดลงทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกไม่เสื่อมคุณภาพและสุก เพราะการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกลดอย่างรวดเร็ว จึงทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกเสื่อมคุณภาพ ซึ่งจะส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอกโดยตรง

จาก Figure 10 จากการทดลองผลของการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 อุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยของชุดท่อความร้อน คือ 60°C และ 80°C โดยในชุดการทดลองนี้ภายในท่อความร้อนจะไม่มี การติดตั้งวัสดุพูนภายใน พบว่าที่อุณหภูมิ 80°C ข้าว กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 ใช้เวลาในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกอยู่ที่ 300 และ 330 min และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60°C ก็จะใช้เวลานานขึ้นอยู่ที่ 450 และ 390 min ถึงจะได้ความชื้นในเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกประมาณที่ 12% มาตรฐานเปียก ซึ่งผลการทดลอง ของท่อความร้อนที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งวัสดุพูน กับสารทำงานที่บรรจุภายใน ที่เป็น R-134a และ R-11 ก็มีผลการทดลองที่คล้ายคลึงกัน

จากการทดลองของท่อความร้อนที่บรรจุสารทำงาน R-134a และ R-11 จะพบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวเปลือกของสารทำงาน R-134a ดีกว่า R-11 โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การงอกที่ดีที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 60°C ของสารทำงาน R-134a เป็น 84% ในข้าว กข6 และ 72% ในข้าวดอกมะลิ 105 เนื่องจากผลของสารทำงานมีจุดเดือดที่ต่ำและค่าความจุความร้อนจำเพาะสูง ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนของสารทำงานที่อยู่ภายในท่อความร้อนได้ดี ทำให้สามารถรับความร้อนและส่งถ่ายความร้อนได้รวดเร็ว ซึ่งส่งผลต่อระยะเวลาในการลดความชื้นน้อยไม่ทำให้ข้าวเปลือกต้องอบอยู่ในความร้อนนานเกินไป ซึ่งจะมีผลต่อการเสื่อมคุณภาพ และเปอร์เซ็นต์การงอกต่อไป

Table 3 Shows the germination percentage of RD6 rice and Jasmine Rice, KDML105 at 60°C and 80°C (Heat pipe without wick)

Working Fluids	Evaporator Temp. 60°C	(%)	Evaporator Temp. 80°C	(%)	Working Fluids	Evaporator Temp. 60°C	(%)	Evaporator Temp. 80°C	(%)
R-134a		73		65	R-11		67		57
	RD6 rice		RD6 rice			RD6 rice		RD6 rice	
R-134a		64		53	R-11		59		50
	KDML105		KDML105			KDML105		KDML105	

2.2 เปรอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 ของสารทำงาน R-134a และ R-11 โดยใช้ท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งวัสดุพรุน จาก Table 3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิ 60°C และ 80°C จะพบว่าที่อุณหภูมิ 60°C จะมีเปอร์เซ็นต์การงอกดีกว่าอุณหภูมิ 80°C เนื่องจากการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกค่อยๆ ลดลงทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกไม่เสื่อมคุณภาพและสุก เพราะการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกลดอย่างรวดเร็ว จึงทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกเสื่อมคุณภาพ ซึ่งจะส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอกโดยตรง

จากการทดลองของท่อความร้อนที่บรรจุสารทำงาน R-134a และ R-11 จะพบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวเปลือกของสารทำงาน R-134a ดีกว่า R-11 โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การงอกที่ดีที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 60°C ของสารทำงาน R-134a เป็น 73% ในข้าว กข6 และ 64% ในข้าวดอกมะลิ 105 เนื่องจากผลของสารทำงานมีจุดเดือดที่ต่ำและค่าความจุความร้อนจำเพาะสูง ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนของสารทำงานที่อยู่ภายในท่อความร้อนได้ดี ทำให้สามารถรับความร้อนและส่งถ่ายความร้อนได้รวดเร็ว ซึ่งส่งผลต่อระยะเวลาในการลดความชื้นน้อย ไม่ทำให้ข้าวเปลือกต้องอบอยู่ในความร้อนนานเกินไป ซึ่งจะมีผลต่อการเสื่อมคุณภาพ และเปอร์เซ็นต์การงอกต่อไป และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลของท่อความร้อนที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งวัสดุพรุน พบว่าท่อที่ติดตั้งวัสดุพรุนจากข้อมูลในตารางจะให้เปอร์เซ็นต์การงอกที่ดีกว่า แต่ทางผู้วิจัยมองว่าปัจจัยที่มีความแตกต่างกันนี้อาจจะไม่ได้เกิดจากวัสดุพรุนเนื่องจากเปอร์เซ็นต์การงอกมีความใกล้เคียงกัน แต่อุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่ 60°C และ 80°C ให้พบการงอกที่แตกต่างอย่างชัดเจน

3. ค่าการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อน

จาก Figure 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งวัสดุพรุน ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 60 และ 80°C พบว่าท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพรุนชนิดตาข่ายภายใน ใช้สารทำงาน R-134a ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C จะให้ค่าการถ่ายโอนความร้อนสูงสุด คือ 62.8 W เมื่อเปรียบเทียบกับ R-11 คือ 54.3 W และในรูปจะแสดงแถบความคลาดเคลื่อนของข้อมูล $\pm 5\%$ โดยเกิดจากเครื่องมือวัดต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยขึ้น ก็จะส่งผลต่อค่าการถ่ายโอนความร้อนเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยที่อุณหภูมิก็เป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญต่อการทำงานของท่อความร้อน และจากผลของสารทำงานภายในต่อท่อความร้อน พบว่าสารทำงาน R-134a จะให้ค่าการถ่ายโอนความร้อนที่สูงกว่าสารทำงาน R-11 เนื่องจาก R-134a มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่สูง และมีจุดเดือดที่ต่ำ เลยเป็นผลให้รับความร้อนที่ส่วนทำระเหย แล้วเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ซึ่งเป็นผลต่อความดันของสารทำงานที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงทำให้รับความร้อนแล้วเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นได้เร็ว ทำให้ผลของการถ่ายโอนความร้อนดีขึ้น และเมื่อติดตั้งวัสดุพรุนเข้าไปก็จะไปช่วยในการลำเลียงสารทำงานที่เกิดการควบแน่นกลับมายังส่วนทำระเหยเพื่อมารับความร้อนอีกครั้ง โดยแรงยกตัวที่เกิดจากวัสดุพรุนจะเป็นตัวดึงให้ของเหลวไหลกลับสู่ส่วนทำระเหย และช่วยให้ของเหลวที่ควบแน่นกระจายตัวรอบผนังของท่อความร้อนเป็นผลให้สารทำงานที่ควบแน่นกลับสู่ส่วนทำระเหยได้ดี ซึ่งวัสดุพรุนจะเป็นตัวแบ่งลักษณะการเคลื่อนที่ของฟองไอ¹⁴ ที่เคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นกับของเหลวที่ควบแน่นกับลงมายังส่วนทำระเหยไม่ให้เกิดการชนกันขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้มีการขัดขวางการไหลของสารทำงานภายใน และ

วัสดุพรุณยังช่วยในการนำความร้อนที่ดีอีกทางหนึ่ง จึงส่งผลต่อค่าการถ่ายโอนความร้อนที่สูงขึ้นด้วย

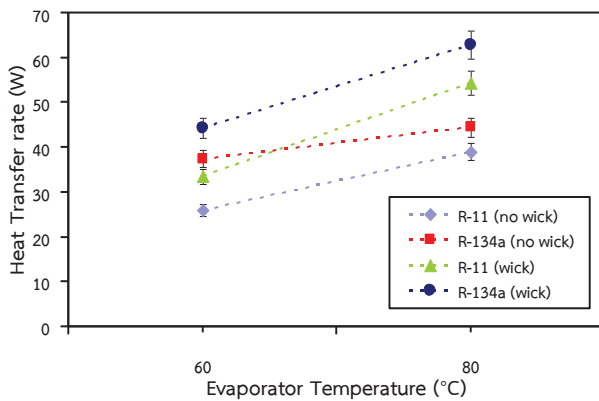


Figure 11 Compare the heat transfer rate of heat pipes with wick and without wick at evaporator temperature 60 and 80°C

4. ค่าประสิทธิภาพของท่อความร้อน

จาก Figure 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของท่อความร้อนที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งวัสดุพรุณที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 60 และ 80°C พบว่าท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพรุณภายใน ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C โดยใช้สารทำงาน R-134a จะมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 65.2% ซึ่งมากกว่าค่าประสิทธิภาพของท่อความร้อนที่ใช้สารทำงาน R-11 คือ 48.7 เนื่องจากสารทำงาน R-134a มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง จึงส่งผลต่อการถ่ายโอนความร้อนที่ดี และเมื่อมีการติดตั้งวัสดุพรุณภายในจะช่วยในการลำเลียงสารทำงานที่เกิดการควบแน่นที่ส่วนควบแน่นกลับมายังส่วนทำระเหย เพื่อมารับความร้อน และช่วยให้ของเหลวที่ควบแน่นกระจายตัวรอบผนังของท่อความร้อน ซึ่งเกิดจากแรงยกตัวของวัสดุพรุณจึงทำให้ไม่เกิดการชนกันของสารทำงานภายในท่อความร้อน

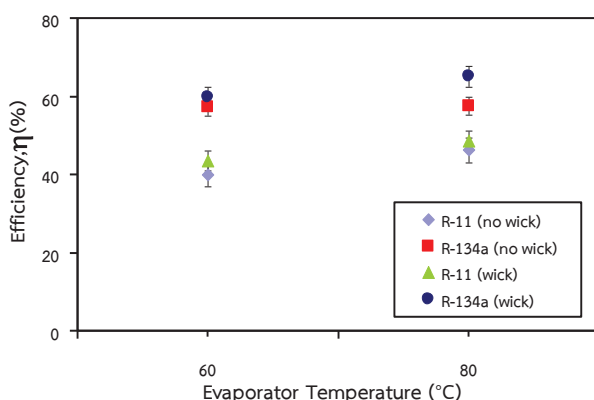


Figure 12 Compare the efficiency of heat pipes with wick and without wick at evaporator temperature 60 and 80°C

และเมื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลประสิทธิภาพของท่อความร้อนระหว่างสารทำงาน R-134a กับ R-11 ในข้อมูลสารทำงาน R-134a ที่ใช้กับท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งวัสดุพรุณกับ สารทำงาน R-11 ที่ใช้กับท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพรุณ ซึ่งจากการวิจารณ์ผลด้านบนที่บอกว่าการติดตั้งวัสดุพรุณภายในจะช่วยให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบสารทำงานกับว่าท่อที่ไม่ติดตั้งวัสดุพรุณ โดยใช้สารทำงาน R-134a ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าท่อที่ติดตั้งวัสดุพรุณ ที่ใช้สารทำงาน R-11 เนื่องจากคุณสมบัติของสารทำงานที่มีความแตกต่างกัน มีจุดเดือดต่างกัน และลักษณะของสารทำงานที่เมื่อได้รับความร้อนแล้ว เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะภายในที่แตกต่างกัน ก็มีผลต่อการเคลื่อนที่ และแลกเปลี่ยนความร้อนด้วย สามารถบอกได้ว่าปัจจัยที่มีผลการแลกเปลี่ยนความร้อนและประสิทธิภาพที่ได้ มีทั้งวัสดุพรุณที่ติดตั้งเพิ่มเข้าไปในท่อความร้อน และชนิดของสารทำงานที่ใช้

สรุปผล

จากการวิจารณ์ผลการทดลองตามวัตถุประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัย ผู้วิจัยสามารถสรุปผลการวิจัยที่ได้ดำเนินการทดลอง ได้ดังนี้

1. ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก

อุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยที่เพิ่มขึ้นเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อความชื้นที่ลดลงของข้าวเปลือก และสารทำงานภายในท่อความร้อน R-134a ให้การถ่ายโอนความร้อน และแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่าสารทำงาน R-11 และท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพรุณภายในมีผลในการลดความชื้น ได้ดีกว่าท่อที่ไม่ติดตั้งวัสดุพรุณ

2. ค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดข้าวเปลือก

เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 และข้าวดอกมะลิ 105 พบว่าที่อุณหภูมิ 60°C จะมีเปอร์เซ็นต์การงอกดีกว่าอุณหภูมิ 80°C เนื่องจากการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้ความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกค่อยๆ ลดลงทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกไม่เสื่อมคุณภาพและเกิดการงอกขึ้น เพราะการลดความชื้นที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกลดอย่างรวดเร็ว จึงทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกเสื่อมคุณภาพและเกิดการแตกหักได้ง่าย

3. ค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อน

ท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพรุณภายใน ใช้สารทำงาน R-134a ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C จะให้ค่าการถ่ายโอนความร้อนสูงสุด เนื่องจาก R-134a มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่สูง และมีจุดเดือดที่ต่ำ เลยเป็นผลให้รับความร้อนที่ส่วนทำระเหย แล้วเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ซึ่งเป็นผลต่อความดันของสารทำงานที่เพิ่มขึ้น

อย่างรวดเร็ว จึงทำให้รับความร้อนแล้วเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นได้เร็ว ทำให้ผลของการถ่ายโอนความร้อนดีขึ้น

4. ค่าประสิทธิภาพของท่อความร้อน

ท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพรุนภายใน ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C โดยใช้สารทำงาน R-134a จะมีค่าประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากวัสดุพรุนจะช่วยให้การลำเลียงสารทำงานที่เกิดการควบแน่นที่ส่วนควบแน่นกลับมายังส่วนทำระเหย เพื่อมารับความร้อน และช่วยให้ของเหลวที่ควบแน่นกระจายตัวรอบผนังของท่อความร้อน ซึ่งเกิดจากแรงยกตัวของวัสดุพรุนจึงทำให้ไม่เกิดการชนกันของสารทำงานภายในท่อความร้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และให้คำแนะนำตลอดการวิจัยที่ผ่านมา และการสนับสนุนงบประมาณ จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ วช. ประจำปีงบประมาณ 2561 จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จตามเป้าหมาย

เอกสารอ้างอิง

- Madhiyanon T., Soponronnarit S. High temperature spouted bed paddy drying with varied downcomer air flows and moisture contents: Effects on drying kinetics, critical moisture content and milling quality. *Drying Technology*. 2005 ; 23: 473-95
- Soponronnarit S., Yapha M., Prachayawarakorn S. Cross-flow fluidized bed paddy dryer: Prototype and commercialization. *Drying Technology*. 1995 ; 13: 2116-207.
- Kaensup W., Kulwong S., Wongwiset S. A small-scale pneumatic conveying dryer of rough rice. *Drying Technology*. 2006 ; 24: 105-13
- Rittidech S., Donmaung A., Kumsombut K. Experimental study of the performance of a circular tube solar collector with closed-loop oscillating heat-pipe with check valve (CLOHP/CV). *Renewable Energy*. 2009 ; 34: 2234-2238
- Kongboon P., *et al.* Ethanol Distillation with Heat Pipe Solar Collector. Thesis M.Eng. Chiang Mai University. 2003
- Rittidech S., Boonyaem A., Tipnet P. CPU cooling of desktop PC by closed-end oscillating heat pipe (CEOHP). *American Journal Applied Science*. 2005 ; 2(12) : 1574-1577
- Naphon P. On the performance of air conditioner with heat pipe for cooling air in the condenser. *Energy Conversion and Management*. 2010 ; 51: 2362-2366
- Supirattanakul P., Rittidech S., Bubphachot B. Application of a closed-loop oscillating heat pipe with check valves (CLOHP/CV) on performance enhancement in air conditioning system. *Energy and Buildings*. 2011 ; 43: 1531-1535
- ISTA. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association (ISTA), Brassersdorf, Switzerland. 2014
- Reay D., Kew P., McGlen R. Heat Pipes Theory, Design and Applications. 6th Edition. London: Butterworth-Heinemann Elsevier Ltd ; 2014.
- Sangiamsuk S., Boothaisong S., Dangton W., Rodbumrung A. Solar collector from heat pipe with wick. The 31st Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. 4-7 July 2017. Nakhon Nayok, Thailand ; 2017.
- Myer Kutz. Mechanical Engineers, Handbook: Energy and Power. 3rd Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. ; 2006.
- Sangiamsuk S., Boothaisong S., Mungchu A., Rodbumrung A. The effect of the temperature of heat-pipe with wick to reduce the moisture content of paddy. The 33rd Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. 2-5 July 2019. Udon thani, Thailand ; 2019.
- Sinsang S., *et al.* Thermal Characteristics of Heat Pipe with Optimized Sintered Porous Media for Portable Computer Cooling. Thesis M.Eng. Chiang Mai University. 2010.

ความเป็นไปได้ทางเทคนิคสำหรับการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเปลือกทุเรียน

Technical feasibility for thermal insulation production from durian peel

ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์^{1*}, ชิตชเนตร บุญเฉลียว², สุทธาทิพย์ จันท์ศิริ²
Panjai Saueprasearsit^{1*}, Chitchanate Boonchaleaw², Sutthathip Junsiri²

Received: 28 April 2020 ; Revised: 15 June 2020 ; Accepted: 30 June 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อศึกษาการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเปลือกทุเรียนโดยปัจจัยที่สำคัญ คือ อัตราส่วนระหว่างเปลือกทุเรียนและน้ำยางพาราซึ่งประกอบด้วยอัตราส่วน 1 : 4, 1 : 3, 1 : 2 และ 1 : 1 (โดยปริมาตร; เปลือกทุเรียน: น้ำยางพารา) โดยพิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสมจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นฉนวนกันความร้อน ประกอบด้วย ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การพองตัวตามความหนา ความต้านแรงตัด โมดูลัสยืดหยุ่น และความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า โดยพิจารณาวิธีการตรวจวัดตามมาตรฐาน (มอก.876-2547) นอกจากนี้ มีการศึกษาสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อนโดยอาศัยกฎของ Fourier จากผลการศึกษา พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของเปลือกทุเรียน: น้ำยางพารา คือ อัตราส่วนที่ 1 : 3 โดยปริมาตร โดยแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตได้มีคุณสมบัติที่สำคัญผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 876-2547 และมีสัมประสิทธิ์ การนำความร้อนเท่ากับ 0.1227 ± 0.0057 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน จากผลการศึกษาทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่า แผ่นฉนวนกันความร้อนจากเปลือกทุเรียนสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทางเลือกในการก่อสร้างได้

คำสำคัญ: แผ่นฉนวนกันความร้อน เปลือกทุเรียน น้ำยางพารา

Abstract

This research aimed to study the production of thermal insulation from durian peel. The significant factor was the ratio of durian peel to liquid rubber. The ratios consisted of 1 : 4, 1 : 3, 1 : 2 and 1 : 1 (V/V; durian peel: liquid rubber). The appropriate ratio was deduced from physical and mechanical properties (density, moisture content, thickness swelling, flexural strength, modulus of elastic, and tensile strength) of produced thermal insulation. These parameters were measured according to TIS standard (TIS 876-2004). Furthermore, the thermal conductivity of the produced thermal insulation was tested using Fourier's law. The results indicated that the optimal ratio of durian peel to liquid rubber was 1 : 3 (V/V) and the significant properties were in line with the TIS 876-2004 standard. The thermal conductivities were 0.1227 ± 0.0057 W/m.K. From the results, it can be concluded that the thermal insulation from durian peel is applicable as an alternative building material.

Keywords: Thermal insulation, Durian peel, Liquid rubber

^{1*} ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² นิสิตระดับปริญญาตรี, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Asst. Prof., Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantarawichai District, MahaSarakhm 44150, Thailand.
Email: panjai.s@hotmail.com

² Bachelor Degree Student, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantarawichai District, MahaSarakhm 44150, Thailand.

บทนำ

ในปัจจุบันแผ่นฉนวนกันความร้อนถือเป็นวัสดุที่สำคัญในการก่อสร้างอาคาร บ้านพักอาศัยและโรงงานอุตสาหกรรม โดยแผ่นฉนวนกันความร้อนจะช่วยให้ลดการส่งผ่านความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ตัวอาคาร ช่วยในการรักษาอุณหภูมิให้คงสภาพที่ต้องการซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งหรือการทำงานของเครื่องปรับอากาศ อันจะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานได้อีกทางหนึ่ง¹ ซึ่งแผ่นฉนวนกันความร้อนที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ผลิตมาจากวัสดุสังเคราะห์ประเภทใยแก้ว อย่างไรก็ตามมีการรายงานของกองอนามัยสิ่งแวดล้อมในปี 2539 ว่า เส้นใยแก้วสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพและร่างกายของผู้ใช้ได้หากมีการสัมผัสหรือหายใจเอาฝุ่นของเส้นใยเข้าไป โดยอาจทำให้เกิดโรคถุงลมโป่งพองหรือโรคมะเร็งหลอดลม² ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีลักษณะเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์มาใช้ทดแทนในการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนเส้นใยดังกล่าว คือ เส้นใยเปลือกทุเรียน เป็นที่ทราบกันดีว่า ทุเรียนจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ทำให้ในแต่ละปีมีเปลือกทุเรียนที่เหลือทิ้งจากการบริโภค/การค้าทุเรียนเป็นจำนวนมากที่จำเป็นต้องหาวิธีการจัดการให้ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการนำเปลือกทุเรียนมาใช้ประโยชน์นอกจากเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้ง (Waste Utilization) แล้วยังจัดว่าเป็นการจัดการวัสดุเหลือทิ้ง (Waste Management) และนอกจากเส้นใยเปลือกทุเรียนแล้วในงานวิจัยนี้ได้มีการใช้น้ำยางพาราเข้มข้นร้อยละ 60 มาทดแทนการใช้พอร์มลิตไฮด์ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสภาพแวดล้อม³ อีกทั้งการใช้น้ำยางพารายังเป็นการช่วยสนับสนุนการใช้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรทำให้เกิดการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรชาวสวนยางพาราได้อีกทางหนึ่ง

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา⁴

การเตรียมเส้นใยเปลือกทุเรียน

เปลือกทุเรียน ซึ่งเป็นวัสดุดิบตั้งต้นในการเตรียมเส้นใยเปลือกทุเรียน เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากร้านค้าทุเรียนในพื้นที่ใกล้เคียงมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งในขั้นตอนแรกจะนำเปลือกทุเรียนมาตากแดดเพื่อเป็นการลดความชื้นจากนั้นนำไปต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแช่สารบอแรกซ์ ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) ความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 30 นาที นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำเส้นใยเปลือกทุเรียนที่ได้ไปทำการบดด้วยเครื่องบดวัสดุให้มีขนาดเล็กแล้วนำมาร้อนผ่านตะแกรงร่อนขนาดเบอร์ 10 (2 มิลลิเมตร)

การเตรียมน้ำยางพารา

น้ำยางพาราที่ใช้เป็นตัวประสานในงานวิจัยนี้ เป็นน้ำยางพาราความเข้มข้นร้อยละ 60 ซึ่งในการใช้งานจะมีการนำไปผสมกับแอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ซึ่งเป็นสารช่วยให้น้ำยางแข็งตัว และ สารพาราฟินอิมัลชันความเข้มข้นร้อยละ 7

การอัดขึ้นรูป

ในการอัดขึ้นรูปผู้วิจัยจะทำการผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนกับน้ำยางพาราในอัตราส่วนที่ทำการศึกษาซึ่งประกอบด้วย 1 : 4, 1 : 3, 1 : 2 และ 1 : 1 โดยปริมาตรจากนั้นทำการเทวัสดุผสมใส่แบบพิมพ์ที่จัดทำขึ้นตามขนาดที่กำหนดไว้ในมาตรฐานอุตสาหกรรมการผลิตไม้อัดแผ่นราบ (มอก.876-2547)⁵ อย่างไรก็ตามเพื่อป้องกันปัญหาการขึ้นรูปได้ไม่เต็มแบบพิมพ์ จึงได้มีการจัดทำแม่พิมพ์ที่มีระยะความหนาเป็น 2 เท่าของขนาดมาตรฐาน แต่เมื่อใส่วัสดุและนำไปกดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกจะทำให้ได้แผ่นฉนวนกันความร้อนตามขนาดที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน โดยในการขึ้นรูปจะใช้แรงกดที่มีขนาดเท่ากับ 750 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ปลดปล่อยไว้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำ แผ่นฉนวนกันความร้อนที่ได้ออกจากแบบพิมพ์แล้วนำมาผึ่งลมให้แห้ง

การศึกษาคุณสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อน

คุณสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย คุณสมบัติทางกายภาพคุณสมบัติทางกลและสัมประสิทธิ์การนำความร้อนโดยทำการศึกษาดังวิธีการที่กำหนดไว้ในมอก. 876-2547⁵ และกฎของ Fourier⁶

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการพองตัวตามความหนา

ความหนาแน่น

นำแผ่นฉนวนกันความร้อนขนาด $50 \times 50 \times 20$ มิลลิเมตร มาทำการชั่งน้ำหนัก และคำนวณหา ความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนจาก สมการ (1)

$$\rho = m/V \quad (1)$$

โดย

ρ = ความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อน (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

m = มวลของแผ่นฉนวนกันความร้อน (กิโลกรัม)

V = ปริมาตรของแผ่นฉนวนกันความร้อน (ลูกบาศก์เมตร)

ปริมาณความชื้น

นำแผ่นฉนวนกันความร้อนขนาด 50 x 50 x 20 มิลลิเมตร มาซึ่งก่อนอบแล้วทำการบันทึกค่าอบแผ่นฉนวนกันความร้อนในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส จนได้มวลคงที่ คือ มวลของแผ่นฉนวนกันความร้อนเมื่อ ซึ่ง 2 ครั้งใช้เวลาห่างกัน 6 ชั่วโมง ต้องไม่แตกต่างกันเกินร้อยละ 0.1 ของมวลของแผ่นฉนวนกันความร้อน นำไปใส่ในตู้อบความชื้นปล่อยให้เย็น จากนั้นซึ่งแผ่นฉนวนกันความร้อน เป็นมวลของ แผ่นฉนวนกันความร้อนหลังอบแห้ง ทำการคำนวณหาปริมาณความชื้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนได้จากสมการ (2)

$$H = ((m_1 - m_2)/m_2) \times 100 \quad (2)$$

โดยที่

H = ปริมาณความชื้นของแผ่นฉนวนกันความร้อน (ร้อยละ)

m_1 = มวลแผ่นฉนวนกันความร้อนก่อนอบ (กรัม)

m_2 = มวลแผ่นฉนวนกันความร้อนหลังอบ (กรัม)

การพองตัวตามความหนา

นำแผ่นฉนวนกันความร้อนขนาด 50 x 50 x 20 มิลลิเมตร มาวัดความหนาแล้วทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดให้ชัดเจนความหนาที่วัดได้จะเป็นความหนาที่วัดก่อนแช่น้ำ จากนั้นนำแผ่นฉนวนกันความร้อนไปแช่น้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส (โดยตั้งแผ่นฉนวนกันความร้อนให้ได้ฉากกับระดับผิวหน้าให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวหน้าประมาณ 25 มิลลิเมตร และแต่ละแผ่นต้องห่างจากกัน และต้องห่างจากผนังและกันภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร) นาน 1 ชั่วโมง นำแผ่นฉนวนกันความร้อนขึ้นมาซับน้ำให้หมดด้วยผ้า แล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องโดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำแผ่นฉนวนกันความร้อนขึ้นมาวัดความหนาที่ตำแหน่งเดิม เป็นความหนาหลังแช่น้ำคำนวณหาการพองตัวตามความหนาของแผ่นฉนวนกันความร้อนได้จากสมการ (3)

$$TS = ((t_2 - t_1) / t_1) \times 100 \quad (3)$$

โดยที่

TS = การพองตัวตามความหนาของแผ่นฉนวนกันความร้อน (ร้อยละ)

t_1 = ความหนาของแผ่นฉนวนกันความร้อนก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

t_2 = ความหนาของแผ่นฉนวนกันความร้อนหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

คุณสมบัติทางกล

คุณสมบัติทางกลที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย ความต้านแรงดัด มอดูลัสยืดหยุ่น และความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

ความต้านแรงดัด และมอดูลัสยืดหยุ่น

นำแผ่นฉนวนกันความร้อนขนาด 50 x 300 x 20 มิลลิเมตร มาวางบนแท่งรองรับของเครื่อง Universal Testing Machine ซึ่งมีระยะห่างกัน 250 มิลลิเมตร (มาตรฐานกำหนดให้ไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร) ให้ปลายแผ่นฉนวนกันความร้อนยื่นออกไปจากจุดที่รองรับข้างละประมาณ 25 มิลลิเมตรให้แรงกดลงที่จุดกึ่งกลางของแผ่นฉนวนกันความร้อนโดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งแผ่นฉนวนกันความร้อนหัก โดยเวลาดังกล่าวต้อง ไม่น้อยกว่า 30 วินาที แต่ไม่มากกว่า 90 วินาที ความเร็วในการกดประมาณ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที คำนวณหาความต้านแรงดัดของแผ่นฉนวนกันความร้อนได้จากสมการ (4)

$$F_m = 3 F_{max} l_1 / (2 b t^2) \quad (4)$$

คำนวณหามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนได้จากสมการ (5)

$$E_m = I_1^3 (F_2 - F_1) / (4 b t^3 (a_2 - a_1)) \quad (5)$$

โดยที่

F_m = ความต้านแรงดัดของแผ่นฉนวนกันความร้อน (เมกะพาสคัล)

F_{max} = แรงกดสูงสุดที่แผ่นฉนวนกันความร้อนรับได้ (นิวตัน)

$F_2 - F_1$ = แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟระหว่างการแอนตัวและแรงกดเป็นเส้นตรง (นิวตัน)

l_1 = ระยะห่างของแท่งรองรับ (มิลลิเมตร)

b = ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของแผ่นฉนวนกันความร้อน (มิลลิเมตร)

t = ความหนาที่จุดกึ่งกลางของแผ่นฉนวนกันความร้อน (มิลลิเมตร)

E_m = โมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นฉนวนกันความร้อน (เมกะพาสคัล)

$a_2 - a_1$ = ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง (มิลลิเมตร)

ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

นำแผ่นฉนวนกันความร้อน ขนาด 50 x 50 x 20 มิลลิเมตร มาตัดผิวหน้าทั้งสองของแผ่นฉนวน กันความร้อนกับแผ่นดิ่ง โดยใช้กาวสังเคราะห์ที่ให้ แรงยึดระหว่างแผ่นฉนวนกันความร้อนกับแผ่นดิ่งได้มากกว่าแรงยึดในแผ่นฉนวนกันความร้อน จากนั้น นำแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เตรียมได้ไปเข้าเครื่อง Universal Testing Machine ดึงให้แผ่นฉนวนกันความร้อนแยกออกจากกัน โดยใช้อัตราการเพิ่มแรงดึงที่สม่ำเสมอ และเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึงจนกระทั่งแผ่นฉนวนกันความร้อนแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาทีแต่ไม่มากกว่า 90 วินาที คำนวณหา ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นฉนวน กันความร้อนได้จากสมการ (6)

$$IB = F / (W \times L) \quad (6)$$

โดยที่

IB = ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นฉนวนกันความร้อน (เมกะพาสคัล)

F = แรงดึงที่มากกระทำ (นิวตัน)

W = ความกว้างของแผ่นฉนวนกันความร้อน (มิลลิเมตร)

L = ความยาวของแผ่นฉนวนกันความร้อน (มิลลิเมตร)

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

นำแผ่นฉนวนกันความร้อน ขนาด 100 x 100 x 50 มิลลิเมตร มาทำให้ความร้อนที่ด้านหนึ่งของแผ่นฉนวนกันความร้อน โดยแหล่งกำเนิดความร้อน คือ หลอดไฟขนาด 100 วัตต์ ในขณะที่ทำการทดลองจะมีการควบคุมปัจจัยที่อาจจะทำให้การทดลองคลาดเคลื่อนโดยทำการทดลองในพื้นที่ปิดทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวหน้าของ แผ่นฉนวนกันความร้อนด้านที่ได้รับความร้อน (T_1) และด้านตรงกันข้าม (T_2) ทุก 5 นาที จนกว่าอุณหภูมิที่วัดได้จะมีค่าคงที่ จากนั้นนำอุณหภูมิที่วัดได้ของทั้งสองด้านของแผ่นฉนวนกันความร้อนไปใช้ในการ

คำนวณตามหลักการของ Fourier's law⁶ ตามสมการ (7)

$$q = -k (T_1 - T_2) / \Delta x \quad (7)$$

เมื่อ

q = ฟลักซ์ความร้อน (วัตต์ต่อตารางเมตร)

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน)

T_1 = อุณหภูมิของแผ่นฉนวนกันความร้อนด้านที่ได้รับความร้อน (เคลวิน)

T_2 = อุณหภูมิของแผ่นฉนวนกันความร้อนด้านตรงกันข้ามกับด้านที่ได้รับความร้อน (เคลวิน)

Δx = ความหนาของแผ่นฉนวนกันความร้อน (เมตร)

ผลการศึกษา

ความหนาแน่น

ความหนาแน่นจัดว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่มีผลต่อ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกล ตลอดจนสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นฉนวน กันความร้อน ซึ่งผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า โดยทั่วไปวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะมีสัมประสิทธิ์การนำ ความร้อนสูง^{4,7} จากผลการศึกษาความหนาแน่นของ แผ่นฉนวนกันความร้อนจากเปลือกทุเรียนที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 539 - 583 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาแสดงดัง Figure 1

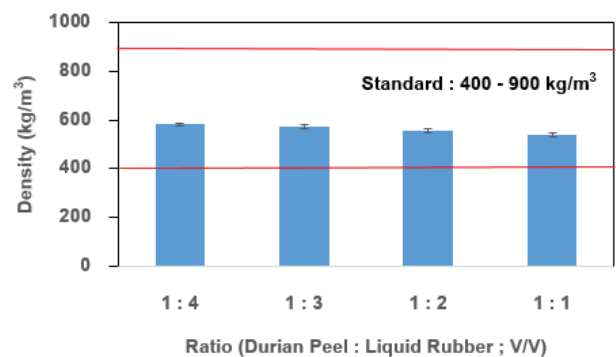


Figure 1 Density of thermal insulations

จาก Figure 1 พบว่า เมื่ออัตราส่วนของน้ำยางพาราลดลงจะทำให้ความหนาแน่นของแผ่นฉนวน กันความร้อนมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้ เนื่องมาจากการลดลงของน้ำยางพาราซึ่งเป็นตัวประสาน ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยเปลือก

ทุเรียนมีค่าลดลง ทำให้เกิดการยึดจับกันอย่างหลวมๆ ก่อให้เกิดช่องว่างหรือ รูพรุนในแผ่นฉนวนกันความร้อนเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนลดลง และเมื่อนำความหนาแน่นที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ระหว่าง 400 - 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่า ความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นจัดเป็นคุณสมบัติที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแผ่นฉนวนกันความร้อน เนื่องจากแผ่นฉนวนกันความร้อนมีปริมาณความชื้นมากอาจก่อให้เกิดเชื้อราส่งผลต่อสุขภาพของผู้ใช้งาน และส่งผลให้อายุการใช้งานของแผ่นฉนวนกันความร้อนลดลง⁸ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติดังกล่าว ซึ่งจากการศึกษาปริมาณความชื้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเปลือกทุเรียน พบว่ามีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 6.71 - 8.93 ผลการศึกษาแสดงดัง Figure 2

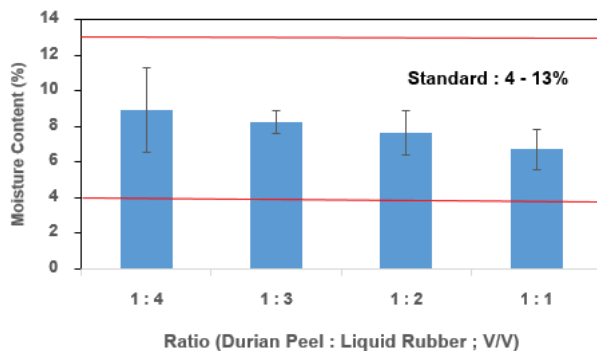


Figure 2 Moisture content of thermal insulations

จาก Figure 2 พบว่า แผ่นฉนวนกันความร้อนจะมีปริมาณความชื้นลดลงเมื่ออัตราส่วนของน้ำยางพาราลดลง ทั้งนี้ เนื่องมาจากน้ำยางพาราเข้มข้น ร้อยละ 60 มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก⁹ ดังนั้นการลดอัตราส่วนของน้ำยางพาราจึงเป็นการลดปริมาณน้ำหรือปริมาณความชื้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนได้ และ เมื่อนำปริมาณความชื้นที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ระหว่างร้อยละ 4-13 พบว่า ปริมาณความชื้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนทุกอัตราส่วน ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

การพองตัวตามความหนา

การพองตัวตามความหนาเป็นคุณสมบัติที่บอกถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (ขยายตัว) ของแผ่นฉนวน กันความร้อนเมื่อได้รับปริมาณน้ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่มีผลต่ออายุ

การใช้งานของแผ่นฉนวนกันความร้อน ซึ่งจากการศึกษาการพองตัวตามความหนาของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเปลือกทุเรียน พบว่า มีการพองตัวตามความหนาอยู่ระหว่างร้อยละ 7.74 – 9.86 ผลการศึกษาแสดงดัง Figure 3

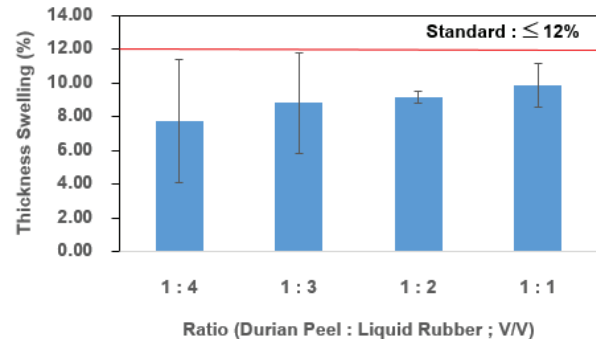


Figure 3 Thickness swelling of thermal insulations

จาก Figure 3 พบว่า การพองตัวตามความหนาของแผ่นฉนวนกันความร้อนมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนของน้ำยางพาราลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อน้ำยางพาราลดลง ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถเข้าไปแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเส้นใยหรือแทรกในรูพรุนของเส้นใยหรือดูดซึมน้ำได้มากขึ้น¹⁰ ทำให้แผ่นฉนวนกันความร้อนเกิดการพองตัวได้มากขึ้นและเมื่อนำการพองตัวตามความหนาที่ได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ไม่เกินร้อยละ 12 พบว่า การพองตัวตามความหนาของแผ่นฉนวนกันความร้อนทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ความต้านแรงตัด

ด้วยลักษณะการใช้งานของแผ่นฉนวนกัน ความร้อนที่ติดกับผนังหรือฝ้าเพดาน จึงอาจมีกรณีหรือสถานการณ์ต่างๆ ที่ทำให้แผ่นฉนวนกันความร้อนจะต้องรับแรงตัดมากระทำ เช่น การติดตั้งหรืออุปกรณ์กับ ฝ้าเพดานทำให้น้ำหนักถ่วงหรือแรงตัดในแนวตั้ง เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาความต้านแรงตัดของแผ่นฉนวนกันความร้อนซึ่งจากการศึกษาความต้านแรงตัดของแผ่นฉนวนกันความร้อนจาก เปลือกทุเรียน พบว่าความต้านแรงตัดอยู่ในช่วง 10.53 – 14.35 เมกกะพาสคัล ผลการศึกษาแสดงดัง Figure 4

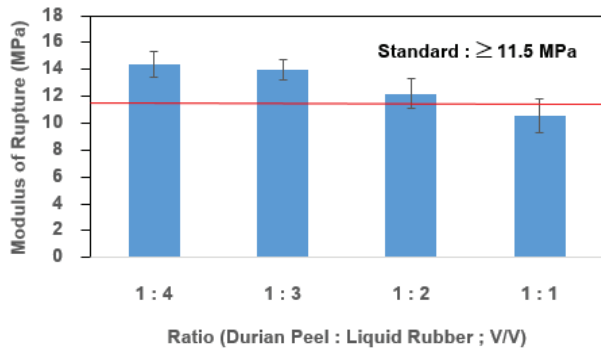


Figure 4 Modulus of rupture of thermal insulations

จาก Figure 4 พบว่า ความต้านแรงดัดของแผ่นฉนวนกันความร้อนจะลดลงเมื่ออัตราส่วนของน้ำยางพารา ลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการลดลงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยเปลือกทุเรียนลดลง ดังนั้นเมื่อมีแรงมากกระทำจึงทำให้แผ่นฉนวนกัน ความร้อนเกิดการเปลี่ยนแปลง (หัก) ได้ง่ายขึ้น และเมื่อนำความต้านแรงดัดที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ความต้านแรงดัดต้องไม่น้อยกว่า 11.5 เมกกะพาสคัล พบว่า ความต้านแรงดัดของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วนที่อัตราส่วน 1 : 4 - 1 : 2 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

มอดูลัสยืดหยุ่น

มอดูลัสยืดหยุ่นเป็นคุณสมบัติที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการคงรูปของแผ่นฉนวนกันความร้อนเมื่อมีแรงดัดมากกระทำ โดยแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีมอดูลัสยืดหยุ่นมาก จะทนทานต่อแรงดัดที่มากกระทำได้ดี เสียรูปร่างเดิมได้ยากกว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มี มอดูลัสยืดหยุ่นน้อย⁸ ซึ่งจากการศึกษา มอดูลัสยืดหยุ่นจากแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเปลือกทุเรียน พบว่า มอดูลัสยืดหยุ่นอยู่ในช่วง 36.83– 50.93 * 10³ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ผลการศึกษาแสดงดัง Figure 5

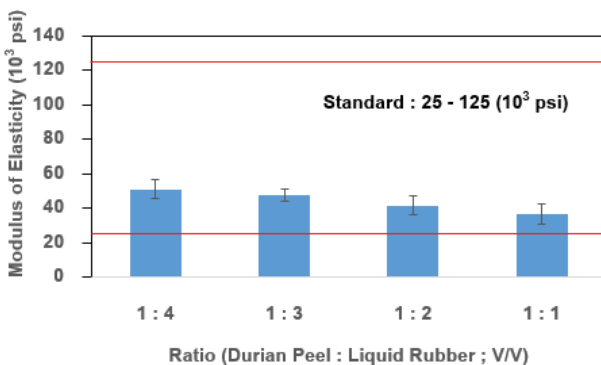


Figure 5 Modulus of elasticity of thermal insulations

จาก Figure 5 พบว่า มอดูลัสยืดหยุ่นของ แผ่นฉนวนกันความร้อนลดลงเมื่ออัตราส่วนของ น้ำยางพารา ลดลง ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการลดลงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยเปลือกทุเรียนดัดที่กล่าวข้างต้น รวมถึงการลดลงของน้ำยางพาราที่จัดว่าเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ให้ความยืดหยุ่นสูงที่เป็นองค์ประกอบ และเมื่อเปรียบเทียบกับมอดูลัสยืดหยุ่นที่ได้กับมาตรฐานที่กำหนดไว้ที่มอดูลัสยืดหยุ่นต้องอยู่ในช่วง 25 - 125 * 10³ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)⁹ พบว่า มอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเป็นคุณสมบัติทางกลที่สำคัญที่ทำให้ทราบว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตได้มีการยึดเหนี่ยวภายในมากน้อยเพียงใด เป็นค่าที่ใช้ประเมินความแข็งแรงของแผ่นฉนวนกันความร้อนภายใต้สภาพแวดล้อมในการใช้งาน ซึ่งจากการศึกษาความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของ แผ่นฉนวนกันความร้อนจากเปลือกทุเรียน พบว่า อยู่ในช่วง 0.153 – 0.346 เมกกะพาสคัล ผลการศึกษาแสดงดัง Figure 6

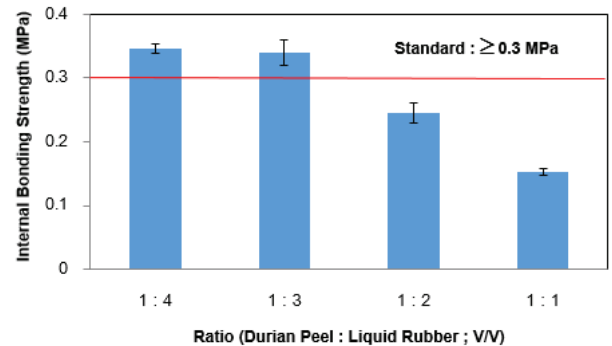


Figure 6 Internal bonding strength of thermal insulations

จาก Figure 6พบว่า ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นฉนวนกันความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อลดอัตราส่วนของน้ำยางพาราลง ทั้งนี้ เนื่องมาจากการลดน้ำยางพาราดังกล่าวจะทำให้แรงยึดประสานภายในของเส้นใยเปลือกทุเรียนลดลง¹¹ และเมื่อนำ ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ได้มีการกำหนดไว้ที่ไม่น้อยกว่า 0.30เมกกะพาสคัลพบว่า ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่อัตราส่วน 1 : 4 และ 1 : 3 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล เมื่อนำมาวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมพบว่า อัตราส่วน 1 : 3 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดทั้งนี้

เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกคุณสมบัติ และมีการใช้เส้นใยเปลือกทุเรียนที่มาจากวัสดุเหลือทิ้งที่ต้องการจัดการมากกว่าเมื่อเทียบกับอัตราส่วน 1 : 4 ที่มีคุณสมบัติทุกคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน นอกจากนี้ การเลือกอัตราส่วนดังกล่าวยังส่งผลดีด้านต้นทุนการผลิต เนื่องจากน้ำยางพาราจัดว่าเป็นวัสดุที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อและจัดเตรียม ถือว่าเป็นส่วนของต้นทุนที่สำคัญในการผลิตฉนวนกันความร้อนจากเปลือกทุเรียน

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

นอกจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่บ่งบอกว่าเมื่อนำแผ่นฉนวนกันความร้อนไปใช้งานความร้อนจะส่งผ่านแผ่นฉนวนกันความร้อนเข้ามายังตัวอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ ได้มากน้อยเพียงใด หรืออีกนัยหนึ่งคือ สามารถบ่งบอกถึงศักยภาพการป้องกันความร้อนของแผ่นฉนวนกัน ความร้อน ซึ่งจากการศึกษาสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ผลิตได้ ณ อัตราส่วนที่เหมาะสม (อัตราส่วน 1 : 3 โดยปริมาตร) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.1227 ± 0.0057 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของไม้อัด แผ่นยิปซัมแผ่นเรียบ และกระเบื้องแผ่นเรียบ จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นฉนวนจาก เปลือกทุเรียนมีค่าต่ำกว่าวัสดุทั้งสามชนิด แสดงผลดัง Table 1 แสดงให้เห็นว่าการใช้แผ่นฉนวนกันความร้อนจากเปลือกทุเรียนที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้สามารถใช้ทดแทนหรือควบคู่กับการใช้แผ่นไม้อัด ยิปซัมบอร์ดหรือกระเบื้องแผ่นเรียบและจะสามารถช่วยลดการนำความร้อนของวัสดุดังกล่าวได้

นอกจากนี้ใน Table 1 เมื่อทำการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเปลือกทุเรียนกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งชนิดอื่นจากงานวิจัยที่ผ่านมา

Table 1 Thermal conductivity coefficient (k) of materials

Materials	k (W/m.K)
Thermal insulation from durian peel	0.1227
Plywood ¹²	0.169
Gypsum board ¹² (smooth type)	0.204
Tile (smooth type) ¹²	0.242
Thermal insulation from Rice Straw 1 ¹⁴	0.21
Thermal insulation from Rice Straw 2 ¹⁵	0.125
Thermal insulation from Plastic Waste ¹⁶	0.10 - 0.14

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาทั้งหมด พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจาก เปลือกทุเรียน คือ อัตราส่วน 1 : 3 โดยปริมาตร ซึ่งแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเปลือกทุเรียนที่ผลิตได้มีความหนาแน่น 555.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณความชื้นร้อยละ 7.64 การพองตัวตามความหนาร้อยละ 8.80 ความต้านแรงตัด 13.99 เมกะพาสคัล มอดูลัสความยืดหยุ่น 48×10^3 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า 0.339 เมกะพาสคัล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.1227 ± 0.0057 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 876-2547 ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ทางเทคนิคที่จะใช้แผ่นฉนวนกัน ความร้อนจากเปลือกทุเรียนทดแทน/ควบคู่กับ แผ่นฉนวนชนิดอื่น ทั้งนี้การใช้ดังกล่าว ยังจะเป็นการช่วยลดการนำความร้อนของวัสดุได้อีกทางหนึ่ง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกล และหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยประกอบการทำปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี

เอกสารอ้างอิง

1. กรองทิพย์ เต็มเกาะ. การทดสอบสภาพนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนคอมโพสิต. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 2551 ; 60(190) : 9-11.
2. จุฬารัตน์ แซ่ปึง, อมรเทพ เตยเจริญภักดี และภวิตรภาวะโคตร. การศึกษากำลังรับแรงอัด ค่าการไหลและระยะเวลาการก่อตัวของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์ผสมวัสดุนำกลับมาใช้ [วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทมหาบัณฑิต]. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น ; 2556.
3. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการจัดการสารเคมี. ได้จาก URL: <http://php.diw.go.th/safety/wp-content/uploads/2015/01/formaldehyde.pdf> [1 มีนาคม 2563]
4. บุญญารัตน์ พิมพรม, ปิยะวรา แดงนา และปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์. การพัฒนาฉนวนกันความร้อนจากฟางข้าว. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 13. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาสารคาม ; 2560. หน้า 358-367.

5. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. ได้จาก URL: <http://research.rid.go.th/Vijais/moa/fulltext/TIS876-2547.pdf> [1 มีนาคม 2563]
6. กระทรวงพลังงาน. บทที่ 4 หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน. ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) ด้านความร้อน. ได้จาก URL: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Heat/pre_heat_4.pdf [1 มีนาคม 2563]
7. ธัญชัย ปุคณวรกิจ, พันธดา พุฒิปาโรจน์, วรธรรม อุ่ณจิตติชัย และพรรณจิรา ทิศาภิภาต. ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. Journal of Achitectural/Planning Research and Studies 2006 ; 4: 3-13.
8. จิตติวัลค์ เลื่อมกาญจนพันธ์. การศึกษาสมบัติเชิงกายภาพสมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกกช้าง [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ; 2555.
9. ปราโมทย์ วีรานุกูล, จักรวัฒน์ เรืองแรงสกุล, สัจจะชาญพรัดมะลิ และประชุม คำพุ่ม. การใช้กากมะพร้าว ต้นข้าวโพดและเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุประกอบชีวภาพทดแทนไม้ในแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง [วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ; 2554.
10. ฉันท์จิต คำนวนทิพย์ และมนทิพย์ ล้อสุริยนต์. แผ่นอัดจากใยมะพร้าว ชานอ้อย และแกลบ [วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ; 2550.
11. กิตติศักดิ์ บัวศรี. การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว [วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ; 2544.
12. อาบีดิน ดะแซสาเมาะ, อีรฟาน ยูโซะ, อีเลียส มูยา อีเลียส มูยา, อนันท์ ดอเลาะ และคอดีเยาะ เจ๊ะและ. การพัฒนาอุปกรณ์วัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสำหรับวัสดุก่อสร้าง. ได้จาก URL: http://qa.yru.ac.th/cheqa/qadoc/Science/school%20year_2556/elements-4/indicat-5/sci_5-7.pdf [1 มีนาคม 2563]
13. Cetiner, I. and Shea, A. D. Wood waste as an alternative thermal insulation for buildings. Energy & Buildings, 2018 ; 168: 374-384.
14. Hareedy, N.Z., Nasar, E.S., Sadek, E.F. Properties and Performance of Normal Pressed Rice Straw Thermal Insulation Boards. Internation Journal of Scientific & Engineering Research, 2019 ; 10(6) : 837-844.
15. รจนา ณะศรี และสุภัทรา คนงาม. การผลิตแผ่นฉนวนเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร [วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ; 2558.
16. นีรา น้อยยะ, ศุภามาศ หล้าหา และปานใจ สือประเสริฐสิทธิ์. การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากขยะพลาสติก. ในงานประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 2 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ; 2562. 123-135.

การสกัดแนวเส้นภูมิประเทศจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในเขตจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย พะเยา และลำปาง

Lineaments extraction from satellite images in Chiang Mai, Chiang Rai, Phayao, and Lampang provinces

ณัฐ สุขพรสวรรค์¹, ชนิตา สุวรรณประสิทธิ์², พิษณุ วงศ์พรชัย³
Nut Sukphornsawan¹, Chanida Suwanprasit², Pisanu Wongpornchai³

Received: 23 August 2019 ; Revised: 6 November 2019 ; Accepted: 18 November 2019

บทคัดย่อ

แนวเส้นเป็นลักษณะของเส้นที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิวโลกโดยสัมพันธ์กับภูมิลักษณะของพื้นที่ ซึ่งบางแนวเส้นสามารถบ่งชี้ถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยาในพื้นที่ ปัจจุบันการสำรวจข้อมูลแนวเส้นส่วนใหญ่จำเป็นต้องอาศัยการสำรวจภาคสนามทำให้ใช้เวลานานอย่างมาก วัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้จึงต้องการพัฒนาวิธีการแบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับสกัดแนวเส้นจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI ในเขตพื้นที่บางส่วนของจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดพะเยา และจังหวัดลำปาง โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ 2 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมก่อนการสกัดแนวเส้น และเปรียบเทียบวิธีการเตรียมข้อมูลภาพ 4 วิธีการ ได้แก่ Sobel Filter, Directional Filter, Laplacian Filter และ Principal Component Analysis (PCA) และ 2) การสกัดข้อมูลแนวเส้นจากขั้นตอนการเตรียมข้อมูลภาพและแปลงให้อยู่ในรูปของข้อมูลแนวเส้นด้วย Canny Edge Detection Algorithm ผลการศึกษา พบว่า แนวเส้นส่วนใหญ่มีความสอดคล้องกับภูมิลักษณะที่เป็นแนวที่อกเขาตัดกับแนวพื้นที่ราบ ทิศทางการวางตัวของแนวเส้นส่วนใหญ่อยู่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยวิธีการเตรียมข้อมูลแบบ PCA มีความสอดคล้องกับภูมิลักษณะแบบแนวเส้นมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 24.17 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลเปรียบเทียบจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รองลงมาเป็นแนวเส้นจากวิธีการ Sobel Filter, Directional Filter และ Laplacian Filter คิดเป็นร้อยละ 19.30, 5.13 และ 1.82 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การสกัดแนวเส้น แนวเส้น ภาพถ่ายดาวเทียม

Abstract

Lineament is one of earth's surface characteristic which is correlated to the surface area. Some lineaments can sometimes be identified with geological structures. Currently, lineament surveying needs field survey data collection which can be time consuming. The objective of this study was to develop a semi-automated procedure for extracting lineament form Landsat 8 OLI in some parts of Chiang Rai, Chiang Mai, Phayao, and Lampang provinces. There were 2 steps ; 1) satellite data preparation which used 4 methods comprising Sobel Filter, Directional Filter, Laplacian Filter, and Principal Component Analysis (PCA), and 2) lineament extraction from the previous step and lineament transformation using the Canny Edge Detection algorithm. Lineaments were mostly related to connections between mountain and plain areas. The direction of extracted lineament mostly lied in northeast-southwest direction and extracted lineament from the PCA method was the most compatible with earth features at about 24.17%. The Sobel Filter, Directional Filter, and Laplacian Filter methods were compatible with earth features at about 19.30%, 5.13%, and 1.82% respectively.

Keywords: Extraction of Lineaments, Lineaments, Satellite Images

¹ บัณฑิตศึกษา, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

³ รองศาสตราจารย์, ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

¹ Master Student, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University, E-mail: nuttothai004@gmail.com

² Assist. Prof, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University

³ Assoc. Prof., Department of Geological Sciences, Faculty of Science, Chiang Mai University

บทนำ

การสกัดแนวเส้นภูมิประเทศจากภาพถ่ายดาวเทียมเป็นวิธีการสำหรับค้นหาหรือลักษณะของแนวเส้นที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิวโลกเพื่อแปลงเป็นข้อมูลชนิดแนวเส้น (Line) โดย Hobbs ได้อธิบายความหมายของแนวเส้นบนพื้นผิวโลกไว้ว่า “เป็นลักษณะแนวเส้นที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิวโลกมีลักษณะรูปร่างเป็นแนวเส้นตรงหรือโค้งเล็กน้อย โดยแนวเส้นที่ปรากฏมีความสัมพันธ์กับลักษณะของภูมิประเทศ เช่น แนวสันเขาหรือแนวที่เกิดการยกระดับของพื้นที่ แนวทางไหลของน้ำ แนวชายฝั่ง และแนวเส้นเขตแดนที่ถูกสร้างขึ้น ฯลฯ ซึ่งลักษณะของแนวเส้นสามารถสังเกตเห็นได้จากความแตกต่างคุณสมบัติของพื้นที่ที่อยู่ติดกัน ในบางแนวเส้นมีความเป็นไปได้อาจมีความสัมพันธ์กับลักษณะทางธรณีที่อยู่ใต้พื้นผิวโลก”¹

การพัฒนาวิธีการสกัดแนวเส้น สามารถแบ่งเทคนิคการสกัดแนวเส้นออกเป็น 2 ประเภท คือ การสกัดแนวเส้นด้วยสายตา และการสกัดแนวเส้นแบบอัตโนมัติ² (หรือ ดิจิทัล) สำหรับการสกัดแนวเส้นด้วยสายตา สามารถแบ่งขั้นตอนได้สองขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการนำภาพมาวิเคราะห์เพื่อทำให้ขอบของภาพมีความชัดเจนยิ่งขึ้น (Edge Enhancements) และขั้นตอนต่อมา นำภาพที่ได้จากการวิเคราะห์มาลากแนวเส้นด้วยมือโดยใช้สายตาในการสังเกตลักษณะแนวเส้นในภาพ โดยวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาพ ได้แก่ Principal Component Analysis หรือ PCA, Laplacian Filters, Directional Filter และ Sobel Filter ส่วนการสกัดแนวเส้นแบบอัตโนมัติเป็นการนำเทคนิคทางคอมพิวเตอร์มาใช้สำหรับสกัดแนวเส้นขอบในภาพ โดยวิธีการประเภทนี้ ได้แก่ Canny Algorithm

อดีตที่ผ่านมานักวิจัยหลายท่านได้พยายามคิดค้นวิธีการในการนำเทคนิคต่าง ๆ มาใช้เพื่อปรับปรุงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมให้ดียิ่งขึ้นในส่วนของการเตรียมการสกัดแนวเส้นต่อไป ดังเช่น ได้มีการทดลองพัฒนาวิธีการทางวิทยาการคอมพิวเตอร์เพื่อสกัดแนวเส้นทางธรณีจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-1³ หรือ ได้ทำการสกัดแนวเส้นบนพื้นดินที่ปรากฏอยู่ในเขตพื้นที่หมู่บ้านแห่งหนึ่งทางตอนเหนือของประเทศออสเตรเลีย ด้วยการเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat TM จาก Directional Filter⁴ หรือ การใช้อัลกอริทึมในการค้นหาลักษณะแนวเส้นในภาพถ่ายทั่วไปมาประยุกต์ใช้ งานกับภาพถ่ายทางอากาศ เพื่อค้นหาแนวเส้นที่ปรากฏบนพื้นที่ศึกษา⁵ หรือ การใช้วิธีการสกัดแนวเส้นแบบ Directional Filter มาสกัดแนวเส้นบริเวณพื้นที่เมือง Zahret Medien ซึ่งตั้งอยู่ทางตอนเหนือของประเทศตูนีเซีย ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM เพื่อศึกษาการลักษณะการวางตัวของแนวเส้นในพื้นที่⁶ หรือ การสกัดแนวเส้นจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat TM โดยใช้วิธีการ Weighted Moving Average (WMA) บริเวณแนวเขาทางตอนเหนือของประเทศชิลี เพื่อ

ศึกษาการลักษณะการวางตัวของแนวเส้นบริเวณกลุ่มแนวรอยเลื่อนอตาคาม่า (Atacama Fault)⁷ รวมไปถึง การศึกษาความสอดคล้องของแนวเส้นที่สกัดได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM กับลักษณะภูมิลักษณะในพื้นที่ โดยใช้วิธีการ Contrast Stretching, Directional Gradient Sobel Filters, Principal Component Analysis ในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับภาพถ่ายดาวเทียม และใช้วิธีการ Canny Algorithm ในการแปลงค่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมให้เป็นข้อมูลแนวเส้นชนิดเวกเตอร์⁸

การสกัดแนวเส้นจึงเป็นเทคนิคที่ช่วยให้สามารถค้นหาหรือติดตามสิ่งปกคลุมดินที่มีลักษณะแนวเส้นในพื้นที่ศึกษาได้เป็นอย่างดี สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ทำการสกัดแนวเส้นในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย พะเยา และลำปางโดยมุ่งเน้นไปที่การศึกษาวิธีการสกัดแนวเส้นเพื่อสร้างเป็นข้อมูลแนวเส้นในพื้นที่ ซึ่งในการศึกษารังนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการสกัดแนวเส้นแบบกึ่งอัตโนมัติที่เหมาะสมสำหรับใช้สกัดแนวเส้นในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา

ขอบเขตของพื้นที่ศึกษาคือพื้นที่บางส่วนของ 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดพะเยา และจังหวัดลำปาง มีขนาดพื้นที่ทั้งหมด 12,204 ตารางกิโลเมตร โดยหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกพื้นที่ศึกษาประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ดังนี้

1) บริเวณดังกล่าวมีลักษณะพื้นที่เป็นพื้นที่ราบสลับกับภูเขาสูง โดยในพื้นที่มีสิ่งปกคลุมดินที่มีรูปร่างแนวเส้นอยู่หลายชนิด เช่น แนวแม่น้ำ โครงสร้างลายเส้น แนวขอบเขตพื้นที่เกษตร แนวถนน และลักษณะสิ่งปกคลุมที่ถูกระบุว่าเป็นแนวรอยเลื่อน ซึ่งลักษณะรูปร่างของสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิดในพื้นที่มีลักษณะดัง Figure 1



Figure 1 Landforms in the study area

2) ลักษณะของสิ่งปกคลุมดินสามารถมองเห็นเป็นลักษณะของแนวเส้นได้เมื่อมองจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI สีผสมจริง (Band 3-2-1)

3) มีข้อมูลทางวิชาการที่สนับสนุนการมีอยู่ของภูมิลักษณะแต่ละประเภทในพื้นที่ เช่น ข้อมูลจากหน่วยงานภาครัฐ และข้อมูลจากงานวิจัยที่ทำการศึกษานในพื้นที่ จากการคัดเลือกเกณฑ์ 3 องค์ประกอบ ทำให้ได้ขอบเขตของพื้นที่ศึกษาดัง Figure 2

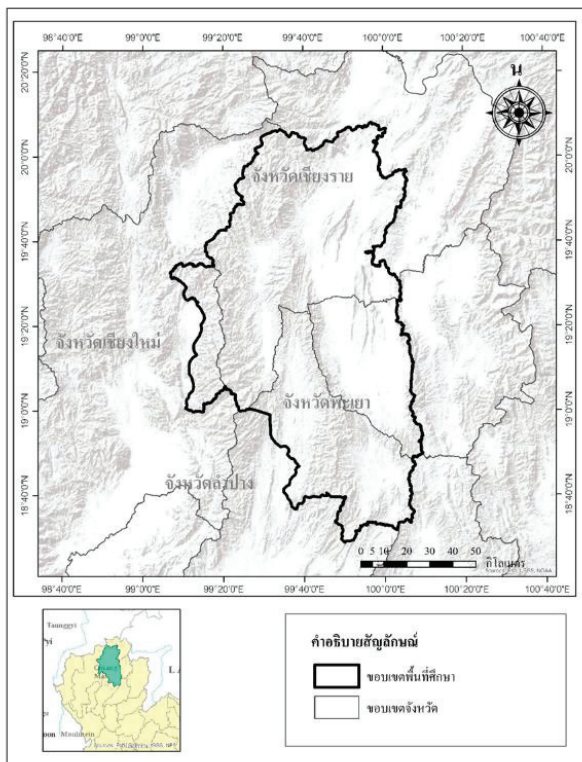


Figure 2 The map of study area

ที่มา: ดัดแปลงจากข้อมูลกรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2548)

ข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ประกอบด้วย ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI และข้อมูลตรวจสอบความถูกต้อง เช่น ข้อมูลแนวรอยเลื่อน ข้อมูลแนวถนน ข้อมูลทางน้ำ ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข และภาพถ่ายดาวเทียมสีผสมจริง สำหรับภาพถ่ายดาวเทียมที่ถูกนำมาใช้ในงานเป็นภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI โดยเป็นภาพถ่ายดาวเทียมที่ถ่ายในวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ทั้งหมด 3 ภาพ คือ ภาพใน Path 130 Row 46, 47, และ 48 ตามลำดับและ วันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ทั้งหมด 2 ภาพ คือภาพใน Path 131 Row 46 และ 47 ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีสภาพอากาศในพื้นที่ขณะนั้นปลอดโปร่ง ภาพถ่าย

ดาวเทียม Landsat 8 OLI เป็นภาพถ่ายชนิดหลายช่วงคลื่น ประกอบด้วยช่วงคลื่น 11 ช่วงคลื่น ได้แก่ ช่วงคลื่นที่ 1-5 คือ Visible and Near Infrared Band (VNIR) มีความยาวคลื่น 0.435-0.879 ไมโครเมตร ช่วงคลื่นที่ 6-7 และ 9 คือ Short Wavelength Infrared Band (SWIR) มีความยาวคลื่น 1.363-2.294 ไมโครเมตร ช่วงคลื่นที่ 8 คือ Panchromatic มีความยาวคลื่น 0.503-0.676 ไมโครเมตร และช่วงคลื่นที่ 10-11 คือ Thermal Infrared Band มีความยาวคลื่น 10.60-12.51 ไมโครเมตร ข้อมูลที่ใช้สำหรับตรวจสอบแนวเส้นประกอบด้วย 1) ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลขเป็นข้อมูลที่มีขนาดพิกเซล 30*30 เมตร โดยข้อมูลได้มาจากเว็บไซต์กรมสำรวจธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Geological Survey หรือ USGS) 2) ข้อมูลแนวรอยเลื่อนจากกรมทรัพยากรธรณีของประเทศไทย และ 3) ข้อมูลลักษณะสิ่งปกคลุมดิน เช่น ข้อมูลแนวนอนกับข้อมูลทางน้ำจากข้อมูลกรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมปี 2548 และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสีผสมจริง (Band 4-3-2) โดยข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องทั้งหมดจะถูกนำมาตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งก่อนการนำไปใช้งาน สำหรับวิธีการตรวจสอบความถูกต้องกับข้อมูลแนวเส้นที่สกัดได้เลือกใช้วิธีการเปรียบเทียบกับสายตา และใช้ค่าทางสถิติในการอธิบายผลลัพธ์ของข้อมูลแนวเส้นที่สกัดได้

ขั้นตอนการวิเคราะห์

สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์สามารถแบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมก่อนการสกัดแนวเส้นและขั้นตอนการสกัดข้อมูลแนวเส้น ซึ่งก่อนขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้งานได้ถูกปรับแก้ค่าแผ่รังสี (Radiance) โดยการแปลงค่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากรูปแบบ 32 bit ให้อยู่ในรูปแบบจำนวนเต็ม 16 bit เพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมทำได้ง่ายยิ่งขึ้น จากนั้นนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมก่อนการสกัดแนวเส้น

การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมก่อนการสกัดแนวเส้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากวิธีการที่นำมาใช้ในการปรับแก้มีผลต่อลักษณะแนวเส้นที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียม การปรับแก้จะทำให้ลักษณะของแนวเส้นที่อยู่ในพื้นที่มีความเด่นชัดขึ้นเมื่อเทียบกับคุณสมบัติของพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งเป็นผลมาจากวิธีการที่เข้าไปเปลี่ยนแปลงค่าพิกเซลในภาพถ่ายดาวเทียม การปรับแก้ภาพถ่ายดาวเทียมในครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับภาพถ่ายดาวเทียม 4 วิธีการ

คือ Sobel Filter, Directional Filter, Laplacian Filter และ Principal Component Analysis โดยแต่ละวิธีการถูกนำมาใช้กับภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงคลื่น Visible and Near Infrared Band (VNIR) หรือ Band 2 ถึง 5 และ Short Wavelength Infrared Band (SWIR) หรือ Band 6 ถึง 7 ซึ่งวิธีการปรับแก้ภาพแต่ละวิธีมีการมีรายละเอียดในการปรับแก้ดังนี้

1.1) Sobel Filter เป็นวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายที่มุ่งเน้นในการสกัดแนวเส้นขอบขององค์ประกอบภาพ โดยหลักการการทำงานของ Sobel Filter เป็นการนำค่าตัวเลขที่เกิดจากการตัดกันของตัวกรองสองชนิด คือ ตัวกรองแบบแนวตั้ง (Gy) และตัวกรองแบบแนวนอน (Gx) มาใช้เป็นผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ ซึ่งหลักการการทำงานของ Sobel Filter สามารถเขียนเป็นสมการ 2 ได้ดังสมการที่ 1 และ 2

$$G = \sqrt{Gx^2 + Gy^2} \quad \text{สมการที่ 1}$$

$$\theta = \arctan(Gx/Gy) \quad \text{สมการที่ 2}$$

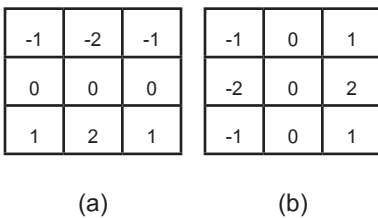


Figure 3 Masks of Sobel Filter by (a) is Gx size 3*3 and (b) is Gy size 3*3

1.2) Directional Filter เป็นวิธีการวิเคราะห์ภาพโดยมุ่งเน้นการสกัดแนวเส้นขอบแบบเฉพาะเจาะจงในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ลักษณะคล้ายกับตัวกรองจากวิธีการ Sobel Filter โดยมีพื้นฐานมาจากสมการที่ 1 Figure 3 แต่มีทิศทางการกรองที่เพิ่มขึ้นจาก 2 ทิศทาง เป็น 4 ทิศทาง ได้แก่ แนวแกน X หรือ ทิศเหนือ-ใต้ แนวแกน Y หรือ ทิศตะวันออก-ตะวันตก แนวทแยงมุม X,Y และ -X,-Y หรือ ทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ แนวทแยงมุม -X,Y และ X,-Y หรือ ทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยทิศแต่ละทิศใช้อักษรย่อเป็น N-S หรือ North-South E-W หรือ East-West NW-SE หรือ Northwest-Southeast และ NE-SW หรือ northeast-southwest ตามลำดับ ซึ่งลักษณะวิธีการแต่ละทิศทางมีลักษณะ¹⁰ ดัง Figure 4

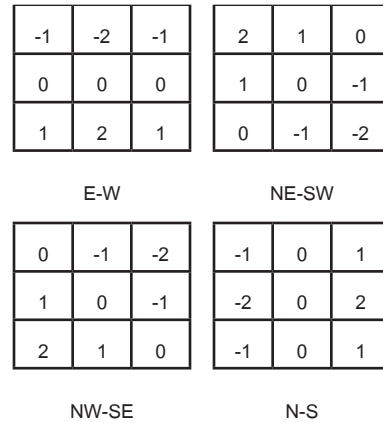


Figure 4 Masks of Directional Filter (a) E-W size 3*3 (b) NW-SE size 3*3 (c) NE-SW size 3*3 (d) N-S size 3*3

1.3) Laplacian Filter เป็นตัวกรองที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับภาพโดยทำให้แนวเส้นขอบของภาพมีลักษณะเด่นชัดขึ้นเมื่อเทียบกับพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งเกิดจากการทำงานของ Laplacian Filter ที่มุ่งเน้นการเพิ่มค่าความถี่ที่มีค่าสูงในภาพ ทำให้สามารถมองเห็นแนวเส้นที่เกิดจากจุดตัดกันระหว่างค่าสีของภาพ¹¹ โดยสามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ 4 และลักษณะของตัวกรอง Laplacian Filter ใน Figure 5

$$L(x, y) = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} \quad \text{สมการที่ 4}$$

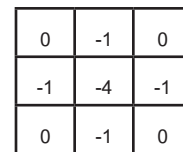


Figure 5 Laplacian Filter size 3*3

4) Principal Component Analysis เป็นวิธีการที่ไม่ได้มุ่งเน้นไปยังการสกัดแนวเส้นขอบของภาพโดยตรง แต่เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับแยกค่าความแปรปรวนออกจากกลุ่มข้อมูล โดยคงเหลือไว้แต่ข้อมูลที่มีค่าสอดคล้องกับค่าข้อมูลกลางที่ใช้สำหรับเป็นเกณฑ์ในการแยกข้อมูล ลักษณะของภาพที่ทำ PCA จะถูกแปลงสภาพเป็นภาพใหม่ที่ข้อมูลหรือลักษณะสิ่งปกคลุมดินในภาพมีความเด่นชัดมากยิ่งขึ้น

วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับภาพถ่ายดาวเทียมที่กล่าวมาข้างต้นได้ถูกนำมาใช้กับภาพถ่ายดาวเทียมทุกช่วงคลื่นที่กำหนดไว้ เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่เหมาะสมสำหรับนำไปสกัดข้อมูลแนวเส้นในขั้นตอนต่อไป ในขั้นตอนก่อนการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมสามารถสรุปรายละเอียดการทำงานได้ดัง Figure 6

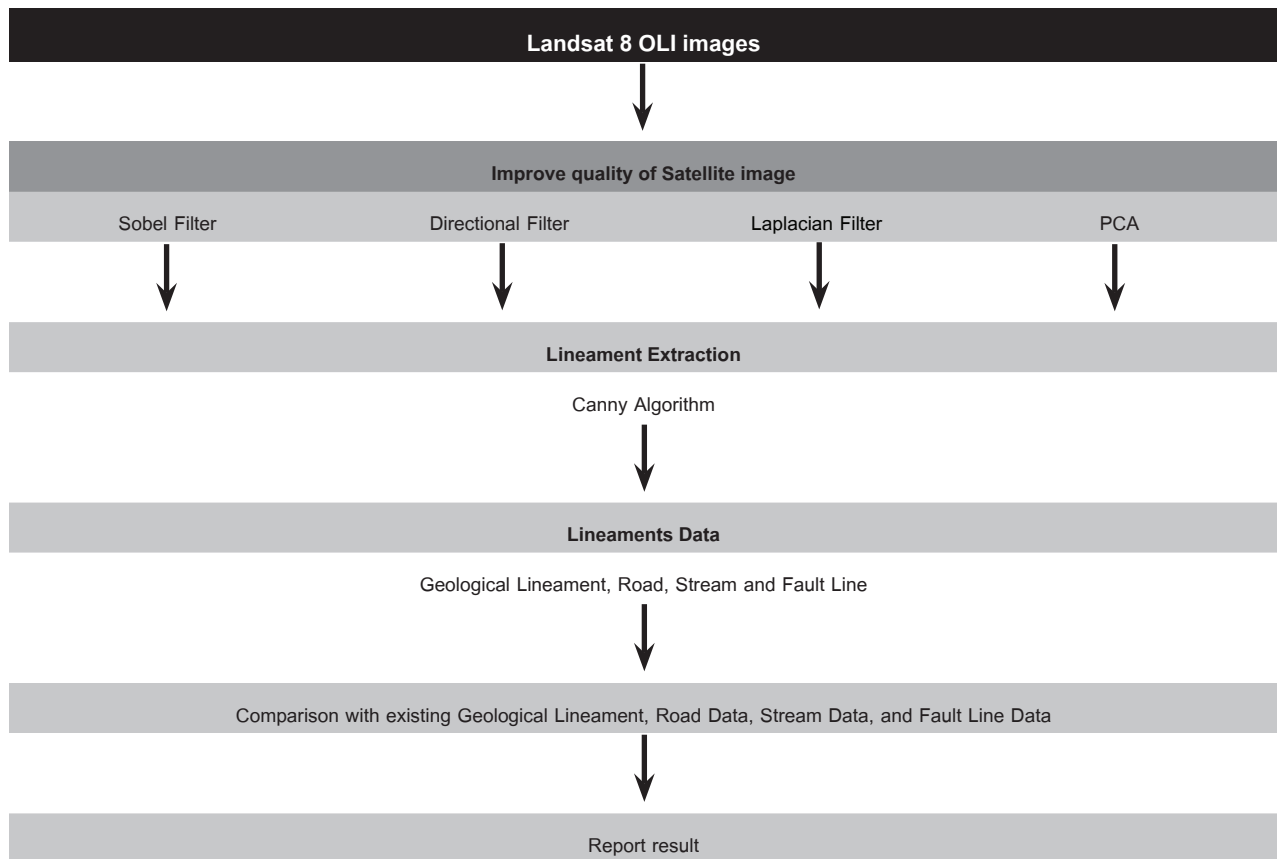


Figure 6 Processes of the lineaments extraction and analysis

2. การสกัดข้อมูลแนวเส้น

การสกัดข้อมูลแนวเส้นเป็นการสร้างข้อมูลใหม่ชนิดแนวเส้น จากข้อมูลภาพที่ผ่านการเพิ่มประสิทธิภาพได้ใช้อัลกอริทึมที่มีชื่อว่า Canny Algorithm¹² ในการสกัดข้อมูลซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมที่ใช้ในการสกัดข้อมูลแนวเส้นออกมาได้ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนหนึ่งเป็นการเตรียมข้อมูลภาพโดยเป็นภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านขั้นตอนการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับภาพแล้ว ซึ่งภาพได้ถูกกรองข้อมูลเพื่อให้ลักษณะแนวเส้นในพื้นที่ที่มีความเด่นชัดยิ่งขึ้น ขั้นตอนที่สอง ใช้วิธีการ Sobel Filter เพื่อให้ได้ค่าข้อมูลในภาพ ขั้นตอนที่สาม เป็นการหาค่า Theta (θ)² จากสมการที่ 2 เพื่อกำหนดทิศทางในการไล่ระดับค่าข้อมูล โดยเริ่มจากค่าที่สูงที่สุดไล่ลงไปค่าที่ต่ำที่สุด ทำให้ได้ลักษณะแนวเส้นที่สามารถนำไปแปลงเป็นข้อมูลใหม่รูปแบบเวกเตอร์ (Vector) ซึ่งแปลงออกมาจากข้อมูลเดิมที่เป็นข้อมูลภาพชนิดแรสเตอร์ (Raster)

ผลการวิจัย

สำหรับผลการวิเคราะห์สามารถจำแนกผลลัพธ์ที่ออกมาได้เป็น 2 ผลลัพธ์ คือ ผลลัพธ์จากขั้นตอนการเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมก่อนการสกัดแนวเส้น และผลลัพธ์จากขั้นตอนการสกัดข้อมูลแนวเส้น โดยขั้นตอนแรกได้กล่าวถึงผลลัพธ์ในเรื่องของวิธีการในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับ

ภาพถ่ายดาวเทียม และภาพถ่ายดาวเทียมที่เหมาะสมแก่การนำไปสกัดเป็นข้อมูลแนวเส้นในขั้นตอนที่สอง ขั้นตอนที่สองได้กล่าวถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการสกัดข้อมูลภาพให้เป็นข้อมูลแนวเส้น และการตรวจสอบข้อมูลแนวเส้น โดยผลลัพธ์แต่ละขั้นตอนสามารถแจกแจงรายละเอียดออกมาได้ดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมก่อนการสกัดแนวเส้น

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมก่อนการสกัดแนวเส้นได้ให้ผลลัพธ์ที่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1) ภาพถ่ายดาวเทียม มีหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกข้อมูล คือ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงคลื่นนั้นต้องสามารถมองเห็นรายละเอียดของภูมิประเทศได้ดีโดยมีสภาพอากาศเข้ามารบกวนน้อยที่สุด และภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงคลื่นนั้นสามารถแสดงลักษณะของแนวเส้นขอบออกมาได้เมื่อนำไปวิเคราะห์กับวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพทั้ง 3 วิธีการ ยกเว้นวิธีการ PCA ที่เลือกใช้ Band ทั้งหมดในการปรับแก้ (VNIR และ SWIR) โดยพบว่าในช่วงคลื่นตั้งแต่ น้ำเงิน เขียว และแดง เป็นช่วงคลื่นที่ได้รับผลกระทบทางด้านการแปรปรวนของสภาพอากาศอย่างมาก ทำให้ตัวภาพในช่วงคลื่นทั้งสาม ไม่สามารถมองเห็นลักษณะของพื้นที่ศึกษาได้อย่างชัดเจน ซึ่งส่งผลกระทบต่อความคาดเคลื่อนในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับภาพและ

ระบुकคุณสมบัติของแนวเส้นในพื้นที่ศึกษา ในส่วนของ Band 5 NIR เป็นช่วงคลื่นที่ได้รับผลจากสภาพอากาศที่น้อยกว่าช่วงคลื่นแบบ Visible Band แต่ยังคงพบว่าในพื้นที่ศึกษายังคงมีความแปรปรวนของสภาพอากาศอยู่บางส่วน สำหรับภาพถ่ายดาวเทียมช่วง Band 6 ถึง 7 เป็นภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้รับผลจากความแปรปรวนของสภาพอากาศน้อยเนื่องจากความสามารถ

ของคุณสมบัติของช่วงคลื่นที่ใช้ถ่ายภาพ ทำให้ภาพถ่ายดาวเทียมช่วงคลื่นเหล่านี้สามารถมองเห็นลักษณะของพื้นที่ได้อย่างชัดเจนกว่าช่วงคลื่น VNIR เมื่อนำภาพถ่ายดาวเทียมทั้งสองภาพมาเปรียบเทียบกันพบว่า ภาพถ่ายดาวเทียมช่วง Band 7 เป็นช่วงคลื่นที่แสดงลักษณะของพื้นที่ให้เห็นได้ชัดเจนกว่าภาพในช่วงคลื่น Band 6 ดัง Figure 7

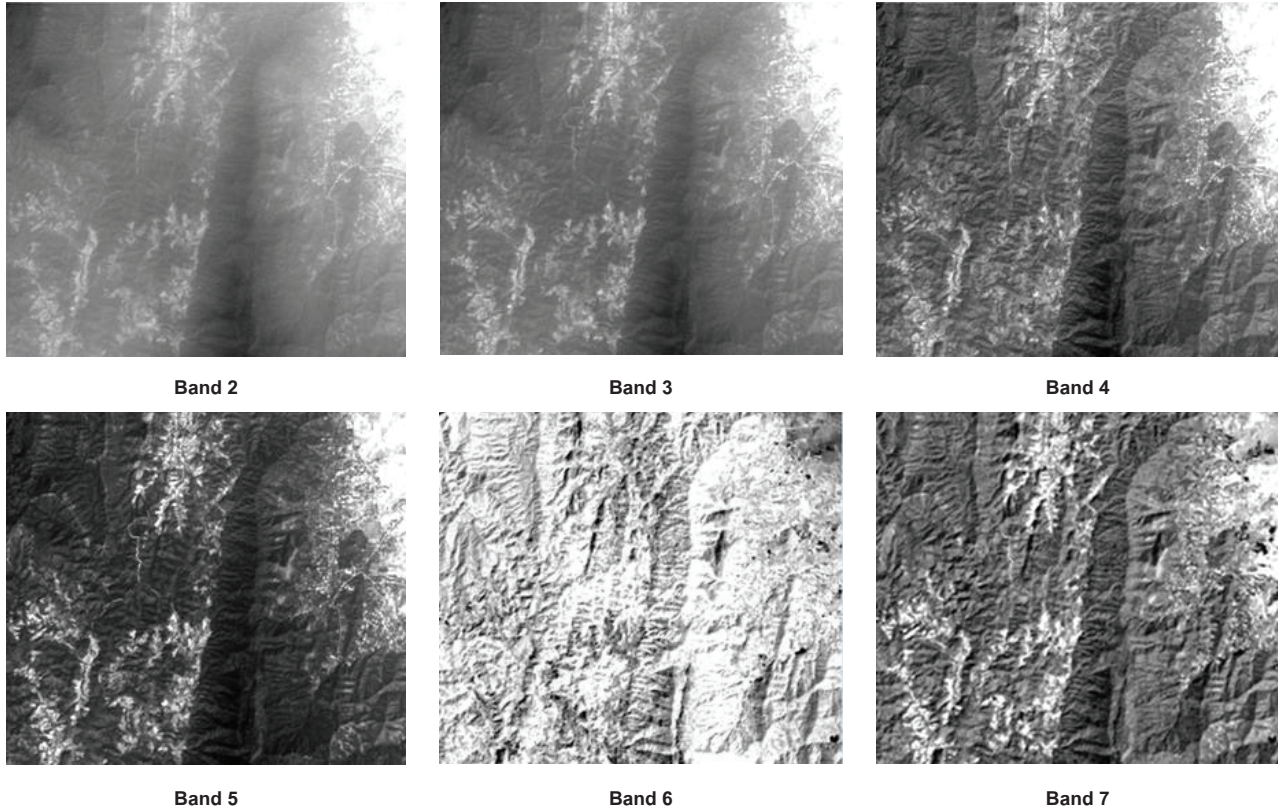


Figure 7 Example Landsat 8 OLI original Band images

ดังนั้น จากการใช้เกณฑ์ในการคัดเลือกภาพถ่ายดาวเทียมที่กำหนดไว้ทำให้ภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงคลื่น Band 7 SWIR จึงเป็นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการเป็นข้อมูลตั้งต้นในการวิเคราะห์

1.2) วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับภาพถ่ายดาวเทียม สำหรับวิธีการที่นำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับภาพถ่ายดาวเทียมทั้ง 4 วิธีการให้ผลลัพธ์ออกมาดังต่อไปนี้

1.2.1) วิธีการ Sobel Filter ผลลัพธ์ที่ได้เผยให้เห็นลักษณะของแนวเส้นที่มีทิศทางในหลายทิศทาง ซึ่งเกิดจากตัววิธีการที่มุ่งเน้นสกัดแนวเส้นโดยไม่ได้จำกัดทิศทางของแนวเส้นหรือลักษณะการวางตัวของแนวเส้นเอาไว้

1.2.2) วิธีการ Laplacian Filter ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการคือ ทำให้สิ่งปกคลุมดินที่มีลักษณะเป็นแนวเส้นที่โดดเด่นอยู่แล้วในภาพเดิมมีความเด่นชัดมากยิ่งขึ้น แต่พื้นที่โดยรอบของแนวเส้นกลับมีลักษณะที่เด่นชัดน้อยลง ซึ่งสิ่ง

ปกคลุมดินที่มีลักษณะเด่นชัดในภาพเดิม เช่น ถนน แนวลำน้ำ และขอบเขตพื้นที่เกษตร

1.2.3) วิธีการ Directional Filter ผลลัพธ์ที่ได้เป็นสิ่งปกคลุมดินที่มีลักษณะแนวเส้นทิศทางเดียวกับตัวกรอง เช่น แนวเส้นที่วางตัวทิศทาง N-S แนวเส้นที่วางตัวทิศ E-W แนวเส้นที่วางตัวทิศ NW-SE และแนวเส้นที่วางตัวในทิศทาง NE-SW แต่แนวเส้นที่ปรากฏออกมาจากวิธีการนี้มีแนวเส้นที่มีทิศทางไม่ได้กำหนดมีปรากฏให้เห็นบ้างเล็กน้อย สำหรับทิศทางของวิธีการที่นำมาวิเคราะห์ผลได้เลือกทิศทาง N-S เพื่อเป็นตัวอย่างให้เห็นถึงแนวเส้นที่สกัดได้จากวิธีการนี้

1.2.4) วิธีการ PCA ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการนี้ภาพถ่ายดาวเทียมไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปมากนักเมื่อเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียมที่ไม่ผ่านวิธีการ PCA สำหรับผลลัพธ์ของวิธีการ PCA ได้ทำการเลือก Band 1 มาใช้สำหรับการวิเคราะห์ในครั้งนี้ โดยผลลัพธ์ของวิธีการแต่ละวิธีการมีลักษณะดัง Figure 8

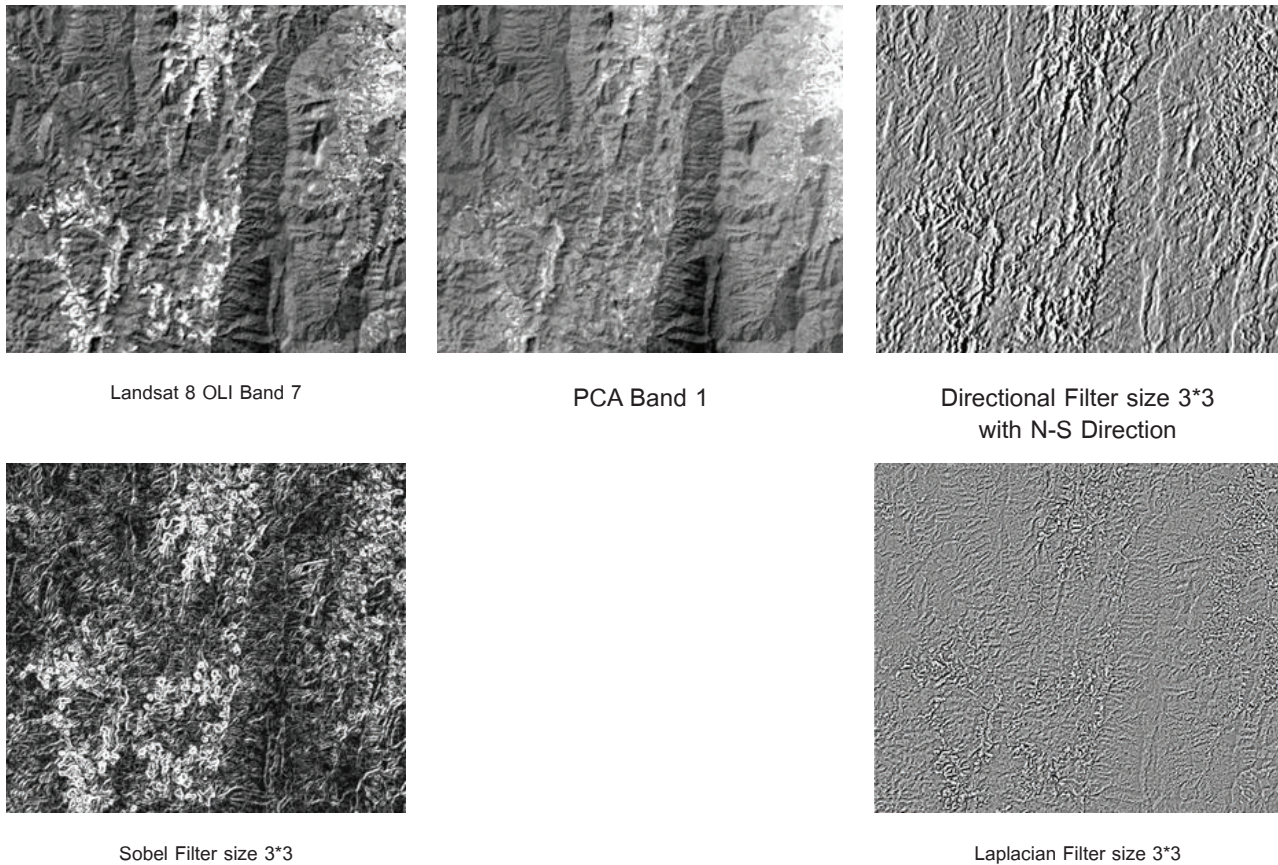


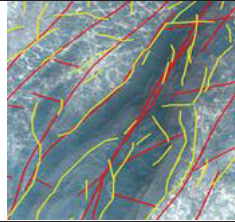
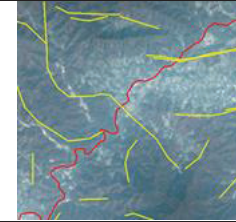

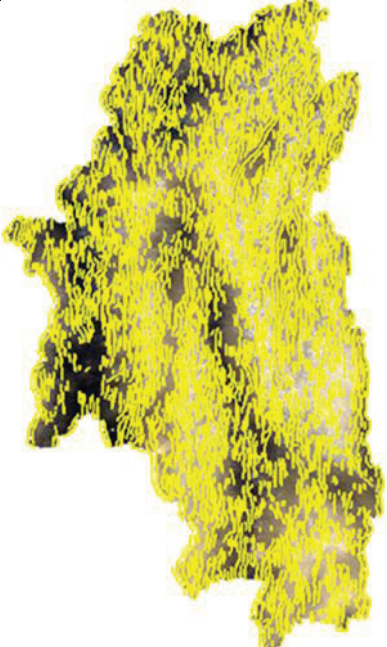
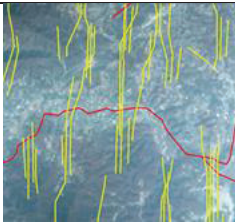
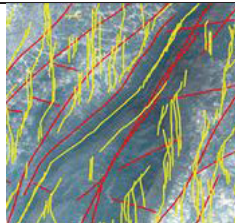
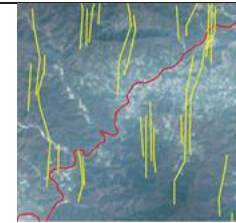
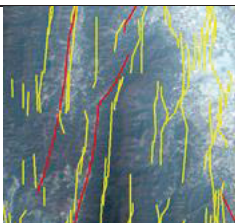


Figure 8 Example characteristics of image after images quality improvement

2. ข้อมูลแนวเส้นและการตรวจสอบข้อมูลแนวเส้น

สำหรับภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการเพิ่มประสิทธิภาพในแต่ละวิธีการจะถูกนำมาสกัดเป็นข้อมูลแนวเส้นโดยใช้อัลกอริทึม Canny เมื่อนำแนวเส้นที่สกัดได้ในแต่ละวิธีการมาเปรียบเทียบกับข้อมูลแนวเส้นที่มีคุณลักษณะเป็นแนวเส้น ได้แก่ แนวแม่น้ำ โครงสร้างลายเส้น แนวถนน และแนวรอยเลื่อน พบว่า แนวเส้นที่สกัดได้มีแค่ไม่กี่แนวเส้นเท่านั้นที่สอดคล้องกับคุณลักษณะในพื้นที่ โดยแนวเส้นส่วนใหญ่ที่ปรากฏคือ ข้อมูลแนวเส้นที่ผิดปกติ (Noise) ซึ่งเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของระดับสีในภาพ ทำให้การตีความของอัลกอริทึมเกิดความผิดพลาด (Error) ส่งผลให้เกิดข้อมูลแนวเส้นที่ผิดปกติหรือข้อมูลแนวเส้นที่ไม่สามารถระบุแหล่งที่มาได้ โดยผลลัพธ์การเปรียบเทียบสามารถสรุปได้ดัง Figure 9 และ Figure 10

จาก Figure 9 ลักษณะของแนวเส้นในวิธีการ Directional Filter ไม่ได้สอดคล้องกับข้อมูลแนวทางน้ำและแนวถนน นอกจากนี้แนวเส้นที่สกัดได้ไม่สอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศที่วางตัวในทิศทาง E-W ในภาพข้อมูลทางน้ำ ซึ่งเกิดจากวิธีการ Directional Filter ที่มุ่งเน้นปรับปรุงข้อมูลเฉพาะทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ทำให้ลักษณะภูมิประเทศที่วางตัว N-S มีความเด่นชัดขึ้น แต่ทิศทางที่อยู่นอกเหนือจากที่วิธีการถูกลดความคมชัดลง (Figure 8) ซึ่งส่งผลต่อการสกัดข้อมูลแนวเส้น ส่วนวิธีการ Sobel Filter และ วิธีการ PCA ใน Figure 10 สามารถสกัดแนวเส้นตามลักษณะการวางตัวของพื้นที่ได้ดี เนื่องจาก 2 วิธีการนี้ ไม่มีการจำกัดทิศทาง และ Laplacian Filter เป็นวิธีการที่ข้อมูลแนวเส้นแทบไม่สอดคล้องกับข้อมูลที่น่ามาเปรียบเทียบและลักษณะภูมิประเทศ

Sobel Filter	Lineaments characteristics in the study area (number of line)		
	Stream Network	Geological Lineament	Road Network
			
	Overlapped : 201	Overlapped : 232	Overlapped : 95
	Fault Line	Total of lineament Data	
		2,953	
		Existing lineaments comparison	
		570	
		Percentage	
	Overlapped : 42	19.30	
	Directional Filter with N-S Direction	Lineaments characteristics in the study area (number of line)	
	Stream Network	Geological Lineament	Road Network
			
	Overlapped : 50	Overlapped : 145	Overlapped : 36
	Fault Line	Total of lineament Data	
		5,085	
		Existing lineaments comparison	
		261	
		Percentage	
	Overlapped : 30	5.13	

————— Existing lineaments ————— Lineament extraction

Figure 9 Lineaments comparison between Sobel Filter and Directional Filter with N-S Direction

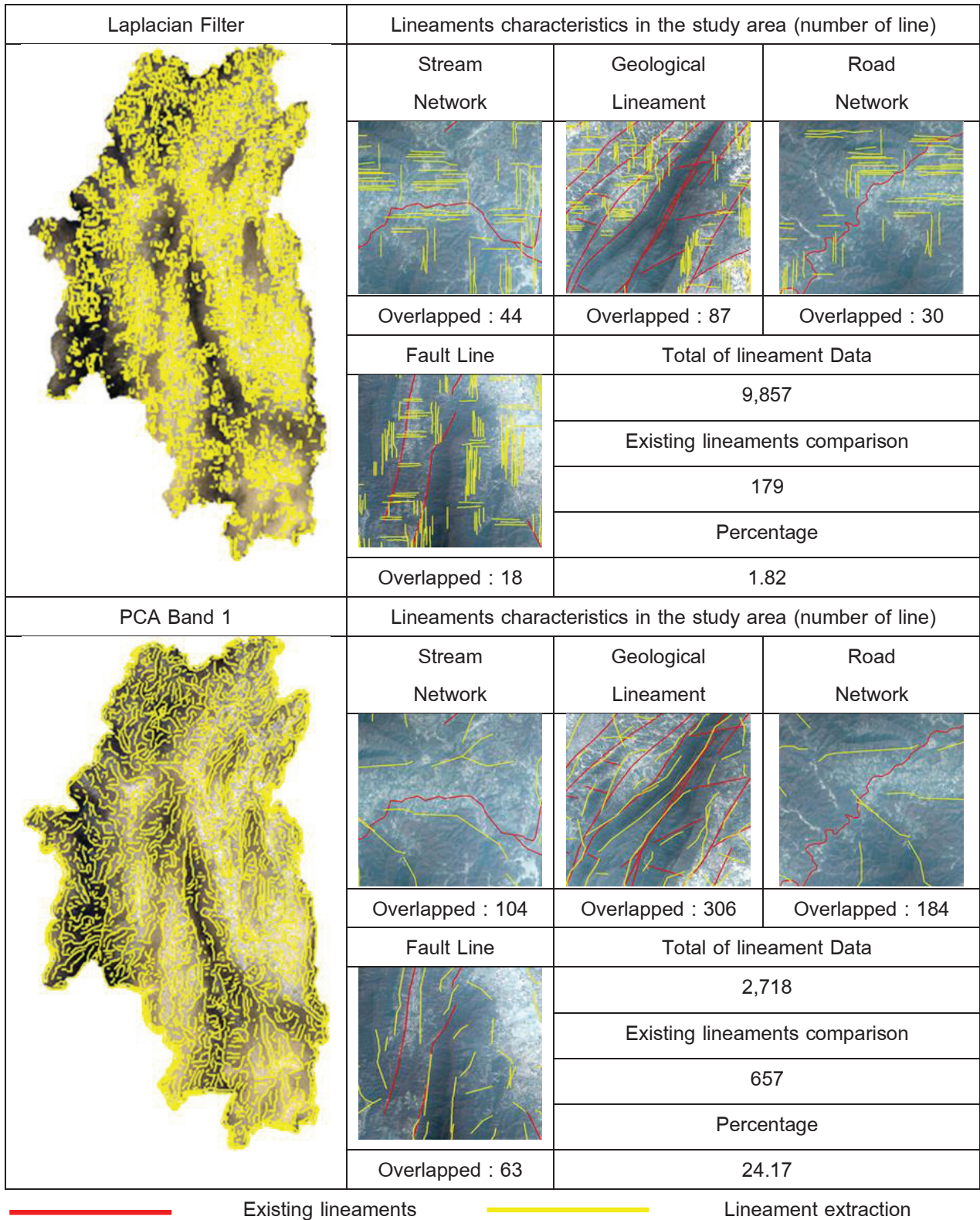


Figure 10 Lineaments comparison between Laplacian Filter and PCA Band 1

จากข้อมูลแนวเส้นที่สกัดได้ในแต่ละวิธีการทำให้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

2.1) แนวเส้นกับข้อมูลเปรียบเทียบ จากการเปรียบเทียบแนวเส้นที่สกัดได้ในแต่ละวิธีการพบว่า แนวเส้นจากภาพ Band 1 ของวิธีการ PCA สามารถสกัดแนวเส้นที่สอดคล้องกับข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบได้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 24.17 วิธีการ Sobel Filter สามารถสกัดแนวเส้นที่สอดคล้องกับข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบคิดเป็นร้อยละ 19.30 ส่วนแนวเส้นจากวิธีการ Directional Filter ทิศทาง N-S มีความสอดคล้องกับข้อมูลเปรียบเทียบคิดเป็นร้อยละ 5.13 ซึ่งลักษณะข้อมูลแนวเส้นส่วนใหญ่ที่สอดคล้องคือ ข้อมูลแนวเส้นที่วางตัวในทิศทาง N-S และข้อมูลแนวเส้นจาก Laplacian Filter เป็นข้อมูลแนวเส้นที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลเปรียบเทียบน้อยที่สุด คือ 1.82

2.2) ค่าพารามิเตอร์ ในการสกัดแนวเส้นได้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมือนกัน โดยค่าพารามิเตอร์ที่ไม่สอดคล้องกับค่าสะท้อนของภาพถ่ายจะส่งผลให้อัลกอริทึมไม่สามารถแปลงข้อมูลแนวเส้นจากภาพถ่ายได้หรือแปลงเป็นข้อมูลแนวเส้นได้ แต่ได้จำนวนแนวเส้นน้อยและไม่สอดคล้องกับภูมิลักษณะในพื้นที่

2.3) ความเข้มของสี แนวเส้นที่ปรากฏส่วนใหญ่เป็นแนวเส้นที่วางตัวอยู่ในช่วงตัดกันของความเข้มของสี เช่น บริเวณภูเขาที่ค่าสีมีความเข้มมากกว่าเมื่อเทียบค่าสีในพื้นที่ราบ ฯลฯ




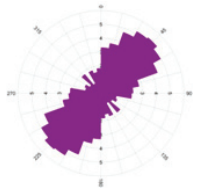
2.4) วิธีการที่นำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพให้กับภาพถ่ายดาวเทียมมีผลต่อตำแหน่งของข้อมูลแนวเส้นและลักษณะการวางตัวของแนวเส้นในพื้นที่

2.5) ขนาดของตัวกรอง วิธีการที่นำมาเพิ่มประสิทธิภาพให้กับภาพมีบางวิธีการที่สามารถปรับขนาดของตัวกรองได้เช่น 3*3 ช่อง 5*5 ช่อง โดยขนาดของตัวกรองสามารถช่วยในการลดปัญหาที่เกิดจากความไม่สม่ำเสมอของระดับสีในภาพได้ แต่สิ่งปกคลุมดินที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดของตัวกรองจะถูกลดความคมชัดในภาพไป

2.5) แนวเส้นที่สกัดได้กับภูมิลักษณะในพื้นที่ โดยแนวเส้นที่ได้จากวิธีการ PCA วิธีการ Sobel Filter และ Directional Filter ทิศทาง N-S แนวเส้นสกัดได้ส่วนใหญ่เป็นแนวที่เอียงขาดกับแนวพื้นราบ แนวถนนขนาดใหญ่ และแนวทางไหลของน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นภูมิประเทศลักษณะแนวเส้นที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยสายตา ส่วนลักษณะภูมิประเทศที่เป็นแนวเส้นขนาดเล็กโดยส่วนใหญ่ไม่สามารถสกัดได้ สำหรับแนวเส้นที่ได้จากวิธีการ Laplacian Filter ถึงแม้ว่าวิธีการจะสามารถทำให้ภูมิลักษณะในพื้นที่ที่มีความเด่นชัดมากขึ้น แต่เมื่อนำภาพจากวิธีการมาสกัดเป็นข้อมูลแนวเส้น แนวเส้นที่สกัดได้ไม่มีความสอดคล้องกับลักษณะแนวเส้นที่เด่นชัดในภาพของวิธีการ ซึ่งเกิดจากวิธีการหรือค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สกัดแนวเส้นไม่สอดคล้องกับค่าของข้อมูลภาพดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.2) และลักษณะแนวเส้นของวิธีการเป็นดัง Figure 10

จากข้อมูลแนวเส้นที่สกัดได้ในแต่ละวิธีการสามารถสรุปเป็นข้อมูลทางสถิติได้ดัง Table 1 โดยข้อมูลแนวเส้นส่วนใหญ่ของวิธีการ Sobel Filter PCA และ Laplacian Filter วางตัวอยู่ในทิศทาง NE-SW ส่วน Directional Filter แนวเส้นส่วนใหญ่วางตัวในทิศทาง N-S ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะของวิธีการที่เน้นสกัดเฉพาะทิศทาง N-S

Table 1 Lineament orientation and the extracted lineament statistics

 <p>Total of lineament Data Maximum Length (m) Mean Length (m)</p>	Method	Sobel Filter
	2,953	
	31,378	
	2,383	
The main direction of lineament		NE-SW
	Method	Directional Filter with N-S Direction
	Total of lineament Data	5,085
	Maximum Length (m)	19,877
	Mean Length (m)	2,997
The main direction of lineament		N-S
	Method	Laplacian Filter
	Total of lineament Data	9,857
	Maximum Length (m)	8,925
	Mean Length (m)	1,584
The main direction of lineament		NE-SW
	Method	PCA
	Total of lineament Data	2,718
	Maximum Length (m)	20,700
	Mean Length (m)	2,586
The main direction of lineament		NE-SW

วิจารณ์และสรุปผล

การสกัดแนวเส้นโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเป็นวิธีการที่สามารถสกัดข้อมูลที่มีลักษณะแนวเส้นบนพื้นผิวโลกได้อย่างรวดเร็ว โดยแนวเส้นที่สกัดได้ส่วนใหญ่เป็นภูมิลักษณะที่ปรากฏลักษณะแนวเส้นอย่างเห็นได้ชัดจากการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับภาพถ่ายดาวเทียม (Figure 7) นอกจากนี้บริเวณที่สกัดแนวเส้นได้ยังเป็นจุดที่เกิดการตัดกันของค่าสีหรือรอยต่อระหว่างสิ่งปกคลุมดินสองชนิด โดยสามารถพบเห็นได้จากตัวอย่างภาพใน Figure 9 และ 10 ลักษณะแนวเส้นที่สกัดได้มีลักษณะความยาวที่ไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งเกิดจากความแตกต่างกันของค่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และการตั้งค่าพารามิเตอร์ในการแปลงค่าข้อมูลภาพ สำหรับทิศทางการวางตัวของแนวเส้นที่สกัดส่วนใหญ่วางตัวในทิศทาง NE-SW ยกเว้น แนวเส้นจากวิธีการ Directional Filter ที่ส่วนใหญ่วางตัวในทิศทาง N-S เนื่องจากวิธีการถูกสร้างมาเพื่อสกัด

แนวเส้นเฉพาะทิศทาง N-S ดัง Table 1 ผลลัพธ์การเปรียบเทียบแนวเส้นของแต่ละวิธีการโดยเรียงจากวิธีการที่มีแนวเส้นสัมพันธ์กับข้อมูลตรวจสอบมากที่สุดไปหาน้อยที่สุดมีดังนี้ 1) ภาพที่ได้จากวิธีการ PCA เป็นวิธีการที่สกัดแนวเส้นได้มีความสอดคล้องกับข้อมูลแนวเส้นในพื้นที่สูงที่สุดจากวิธีการทั้งหมดที่นำมาใช้ในการศึกษา โดยคิดเป็นร้อยละ 24.17 ซึ่งจุดเด่นของวิธีการ PCA คือ สามารถสกัดแนวเส้นภูมิประเทศที่สายตาสามารถมองเห็นอย่างชัดเจนได้ดี แต่วิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถสกัดแนวเส้นภูมิประเทศขนาดเล็กได้ดีมากนัก 2) อันดับรองลงมาคือวิธีการ Sobel Filter มีความสอดคล้องกับข้อมูลแนวเส้นคิดเป็นร้อยละ 19.30 จุดเด่นของวิธีการ Sobel Filter คือ สามารถเน้นลักษณะแนวเส้นในภาพถ่ายดาวเทียมได้ดีที่สุดจากวิธีการที่นำมาศึกษา และมีความต่อเนื่องของแนวเส้นที่ยาวที่สุด แต่ข้อจำกัดของวิธีการ คือ แนวเส้นที่สกัดได้ส่วนใหญ่เป็นแนวเส้นจากลักษณะภูมิประเทศ

ขนาดใหญ่ ดังนั้นวิธีการ Sobel Filter และ PCA เหมาะแก่การสกัดแนวเส้นภูมิประเทศที่เป็นขนาดใหญ่และมีความต่อเนื่องของแนวเส้น 3) วิธีการ Directional Filter ทิศทาง N-S มีแนวเส้นที่สอดคล้องกับข้อมูลเปรียบเทียบคิดเป็นร้อยละ 5.13 จุดเด่นของวิธีการ Directional Filter คือ สามารถสกัดแนวเส้นที่มีทิศทางแบบเฉพาะทิศใดทิศทางหนึ่งได้อย่างดี แต่วิธีการกลับไม่สามารถสกัดแนวเส้นในทิศทางอื่นนอกจากทิศทางที่วิธีการกำหนด ดังนั้นวิธีการ Directional Filter จึงเหมาะสมกับการสกัดแนวเส้นที่มีการวางตัวในทิศทางที่แน่นอน และ 4) วิธีการ Laplacian Filter แนวเส้นที่สกัดได้สัมพันธ์กับข้อมูลตรวจสอบต่ำที่สุดคิดเป็นร้อยละ 1.82 โดยจุดเด่นของวิธีการคือ สามารถเน้นลักษณะแนวเส้นภูมิประเทศในภาพให้มีความเด่นชัดมากยิ่งขึ้น แต่มีข้อจำกัด คือ ภาพที่ได้จากวิธีการนี้ไม่สามารถสกัดแนวเส้นด้วยวิธีการ Canny Algorithm ได้ ซึ่งเกิดจากข้อมูลบริเวณที่เป็นแนวเส้นไม่เข้ากับเงื่อนไขที่กำหนดในวิธีการสกัดแนวเส้น ดังนั้นวิธีการ Laplacian Filter จึงเหมาะแก่การปรับปรุงภาพเพื่อใช้สำหรับสังเกตลักษณะแนวเส้นภูมิประเทศบนพื้นผิวโลก

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการสกัดแนวเส้นโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI ซึ่งวิธีการที่นำมาใช้สกัดแนวเส้นมีการศึกษาแค่บางวิธีการเท่านั้น ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่มีวิธีการอื่นที่สามารถสกัดแนวเส้นได้ดีมากกว่าวิธีการที่นำมาใช้ศึกษาในครั้งนี้ นอกจากนี้วิธีการสกัดแนวเส้นในการศึกษานี้ไม่ได้ถูกพัฒนาเพื่อสกัดแนวเส้นภูมิประเทศแบบเฉพาะเจาะจง แต่ผลลัพธ์ของการศึกษานี้สามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการสำหรับสกัดแนวเส้นภูมิประเทศแบบเฉพาะเจาะจงได้ในการศึกษาการสกัดแนวเส้นครั้งต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- O'Leary, D.W., Friedman, J. D., and Pohn, H. A. Lineament, linear, lineation: some proposed new definitions for old terms. *Geological Society of America Bulletin*. 1976 ; 87: 1463- 1469.
- Sukumar, M., Venkatesan, N., and Nelson Kennedy Babu, C. A Review of Various Lineament Detection Techniques for high resolution Satellite Images. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering* 2014 ; 4: 72-78.
- Xu, S. R., Li, C. C., and Flint, N. K., 1981.Extraction of Geological Lineaments from LANDSAT Imagery by Using Local Variance and Gradient Trend. *LARS Symposia* 1981. p 415.
- Mah, A., Lennox, P., Taylor, G., and Balia, L. Lineament analysis of Landsat thematic mapper images, Northern Territory, Australia. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 1995 ; 61: 761-773.
- Karnieli, A., Meisels, A., Fisher, L., and Arkin, Y. Automatic extraction and evaluation of geological linear features from digital remote sensing data using a hough transform. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda* ; 1996.
- Gannouni, S., and Gabtni, H. Structural Interpretation of Lineaments by Satellite Image Processing (Landsat TM) in the Region of Zahret Medien (Northern Tunisia). *Journal of Geographic Information System* 2015 ; 7: 119-127.
- Leech, D.P., Treloar, P.J., Lucas, N.S., and Grocott, J. Landsat TM analysis of fracture patterns: a case study from the Coastal Cordillera of northern Chile. *International Journal of Remote Sensing* 2003 ; 24: 3709–3726.
- Gannouni, S. and Gabtni, H. Structural Interpretation of Lineaments by Satellite Image Processing (Landsat TM) in the Region of Zahret Medien (Northern Tunisia). *Journal of Geographic Information System* 2015 ; 7: 119-127.
- ปัญญา จารุศิริ, วิโรจน์ ดาวฤกษ์, สุวิทย์ โคสุวรรณ, บุรินทร์ เวชบัณฑิต, สุทธิพันธ์ ชูทรานนท์. แผ่นดินไหวในประเทศไทย และพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ; 2543
- Süzen, M.L., and Toprak, V. 1998. Filtering of satellite images in geological lineament analyses: an application to a fault zone in Central Turkey. *int. j. remote sensing* 1998 ; 19: 1101-1114.
- Ali, S A. and Pirasteh, S. Geological applications of Landsat enhanced thematic mapper (ETM) data and geographic information system (GIS) : mapping and structural interpretation in south-west Iran, Zagros structural belt. *International Journal of Remote Sensing* 2004 ; 25: 4715-4727.
- Canny, J. A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* ; 1986.

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

Mathematical model for forecasting the water content in Huai Jorakhe Mak Reservoir, Mueang district, Buriram province

ธัญญารัตน์ ทุกพันธ์^{1*}, กัญญาณัฐ แดงยังยืน¹, วชิรารักษ์ โอโรสรัมย์²
Thanyarat Tukpan^{1*}, Kanyanat Dangyangyuen¹, Wachirarak Orosram²

Received: 15 September 2019 ; Revised: 12 December 2019 ; Accepted: 20 December 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือนจากโครงการชลประทานบุรีรัมย์ สำนักชลประทานที่ 8 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 132 เดือน โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 120 เดือน สำหรับศึกษาตัวแบบพยากรณ์ โดยวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์ วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์รูปแบบการคูณ วิธีแยกองค์ประกอบรูปแบบการคูณและการบวก และวิธีบอซ-เจนกินส์ ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 12 เดือน นำมาใช้ในการเปรียบเทียบความแม่นยำของค่าพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์เบี่ยงเบนสม มูร์ธเจสีย์ และเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ผลการศึกษาพบว่า วิธีบอซ-เจนกินส์เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์คือ $Y_t = Y_{t-1} + Y_{t-12} - Y_{t-13} + 0.237e_{t-1} - 0.984e_{t-12} - 0.233e_{t-13} - 0.187$.

คำสำคัญ: แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พยากรณ์ ปริมาณน้ำ

Abstract

The purpose of this research was to select a model for the accurate prediction of water content in Huai Jorakhe Mak Reservoir, Mueang District, Buriram Province. Data were obtained from the Royal Irrigation Department, Buriram Province, Irrigation Office 8 from January, 2008 to December, 2018 ; thus there are 132 values of monthly water content in reservoir. Data were separated into two sets. The first set contained 120 values of monthly water content from January, 2008 to December, 2017 and was used for construction of the model using Holt's Double Exponential Smoothing, Winters Multiplicative Exponential Smoothing Method, Classical Decomposition Method, Multiplicative Decomposition and Additive Decomposition, and Box-Jenkins method. Another set, the last 12 values from January, 2018 to December, 2018 were used for checking the accuracy of the forecasting model. The evaluation metrics were the mean absolute the determination of mean absolute deviation and root mean squared error. Research findings indicated that of all the forecasting methods, the Box-Jenkins method is the most suitable for this prediction in Buriram Province. The Mathematical model for forecasting the water content in Huai Jorakhe Mak Reservoir, Mueang District, Buriram Province is $Y_t = Y_{t-1} + Y_{t-12} - Y_{t-13} + 0.237e_{t-1} - 0.984e_{t-12} - 0.233e_{t-13} - 0.187$.

Keywords: Mathematical model, forecasting, water content

¹ นักศึกษาปริญญาตรี, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000

¹ Undergraduate student, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University, Mueang District, Buriram Province 31000, Thailand.

² Assist. Prof., Faculty of Science, Buriram Rajabhat University, Mueang District, Buriram Province 31000, Thailand.

* Corresponding author. E-mail: tanyarat.tuk@bru.ac.th

บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย เราใช้น้ำเพื่อประโยชน์ในด้านต่างๆ ทั้งในด้านการอุปโภคบริโภค ด้านเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม น้ำเป็นทรัพยากรที่เกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติและตามฤดูกาล จากความแปรปรวนของสภาพอากาศทำให้ในช่วงฤดูฝนในบางพื้นที่มีฝนตกมากจนประสบกับปัญหาอุทกภัย บางพื้นที่ฝนไม่ตกตามฤดูกาลทำให้ประสบกับปัญหาภัยแล้ง ซึ่งบุรีรัมย์ก็เป็นจังหวัดหนึ่งที่กำลังประสบกับปัญหาภัยแล้งขั้นวิกฤตในรอบ 10 ปี เกิดภาวะฝนทิ้งช่วงไม่ตกต้องตามฤดูกาล ส่งผลให้ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำต่างๆ เริ่มแห้งขอด รวมไปถึงอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อ่างเก็บน้ำเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ที่มีปริมาณน้ำลดลงอย่างเห็นได้ชัด อ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มากนั้นมีสภาพพื้นที่เป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ มีพื้นที่ 3,876 ไร่ ลักษณะเป็นทะเลสาบน้ำจืด สันเขื่อนสร้างกันห้วยจรเข้มาก ซึ่งเป็นแหล่งน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำประปาหล่อเลี้ยงในตัวเมืองและเขตเศรษฐกิจที่สำคัญ เป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์น้ำจืดของสถานเพาะพันธุ์สัตว์น้ำจืด เป็นแหล่งน้ำสำหรับกรเกษตรและเป็นแหล่งท่องเที่ยวพักผ่อนของจังหวัดบุรีรัมย์ จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก มีความสำคัญกับการดำรงชีวิตของประชาชนในตัวเมืองบุรีรัมย์เป็นอย่างมาก ดังนั้นการศึกษาความแม่นยำในการพยากรณ์ปริมาณน้ำล่วงหน้าจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้องค์กรหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการทรัพยากรน้ำสามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำเพื่อจัดสรรให้ประชาชนได้อย่างเพียงพอ สำหรับการศึกษาในครั้งนี้จะมุ่งเน้นการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์เพื่อเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับพยากรณ์ปริมาณน้ำรายเดือนในอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อ่างเก็บน้ำเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้ข้อมูลจากโครงการชลประทานบุรีรัมย์ สำนักชลประทานที่ 8

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์เพื่อเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อ่างเก็บน้ำเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การศึกษาเพื่อเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อ่างเก็บน้ำเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือนจากโครงการชลประทานบุรีรัมย์ สำนักชลประทานที่ 8 ตั้งแต่

เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 132 เดือน โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 120 เดือน สำหรับศึกษาตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 5 วิธี โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และโปรแกรม SPSS ซึ่งโปรแกรม Microsoft Excel ใช้ในการศึกษาตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์ วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์รูปแบบการคูณ และวิธีแยกองค์ประกอบ ส่วนโปรแกรม SPSS ใช้ในการศึกษาตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบอซ-เจนกินส์ ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 12 เดือน นำมาใช้สำหรับการเปรียบเทียบความแม่นยำของค่าพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์เบี่ยงเบนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) และเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่ต่ำที่สุด

การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

การศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาเป็นการพิจารณาเบื้องต้นว่าอนุกรมเวลามีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะใดมีส่วนประกอบของอนุกรมเวลาใดบ้าง (แนวโน้ม ฤดูกาล วัฏจักร หรือเหตุการณ์ที่ผิดปกติ) โดยพิจารณาจากกราฟอนุกรมเวลาเทียบกับเวลา²

การพยากรณ์โดยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์

เป็นวิธีที่ใช้หลักการของเอกซ์โพเนนเชียลมาใช้ซึ่งคล้ายกับวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่ายแต่วิธีนี้มีค่าคงที่สำหรับปรับระดับ 2 ค่าคือ a แทนค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างข้อมูลกับพยากรณ์ และ b แทนค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างแนวโน้มจริงกับค่าประมาณแนวโน้ม ซึ่งทั้งสองค่ามีค่าระหว่าง 0 - 1 และการหาค่าพยากรณ์คำนวณได้จากสมการ³

$$Y_{t+m} = S_t + b_t m \quad (1)$$

โดยที่

Y_{t+m} แทนค่าพยากรณ์ ณ ช่วงเวลา $t+m$

X_t แทนค่าข้อมูลจริง ณ ช่วงเวลา t

b_t แทนค่าความชันของข้อมูล

m แทนระยะเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

$$S_t = aX_t + (1-a)(S_{t-1} + b_{t-1})$$

$$b_t = d(S_t + S_{t-1}) + (1+d)b_{t-1}$$

การพยากรณ์โดยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์รูปแบบการคูณ

วิธีนี้เหมาะสำหรับข้อมูลที่เป็นรายเดือน รายสัปดาห์ หรือรายวัน วิธีการนี้ยังคงใช้หลักการของเอกซ์โพเนนเชียล คือ ให้ความสำคัญกับข้อมูลไม่เท่ากัน และมีค่าปรับเรียบ 3 ค่าคือ a แทนค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างข้อมูลกับการพยากรณ์ b แทนค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างแนวโน้มจริงกับค่าประมาณแนวโน้ม และ g แทนค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างค่าฤดูกาลจริงกับค่าประมาณฤดูกาล ทั้งสามค่านี้มีค่าระหว่าง 0 - 1 และวิธีของวินเทอร์ มี 2 รูปแบบ คือ การปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของ วินเทอร์รูปแบบการบวก (Winter's additive exponential smoothing Method) ควรใช้กับการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่มีอัตราส่วนของความผันแปรตามฤดูกาลต่อค่าแนวโน้มคงที่ กล่าวคือ อัตราของความผันแปรตามฤดูกาลต่อค่าแนวโน้มมีค่าไม่เพิ่มขึ้นและไม่ลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปและการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล ของวินเทอร์รูปแบบการคูณ(Winter's Multiplicative exponential smoothing Method) ควรใช้กับการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่มีอัตราส่วนของความผันแปรตามฤดูกาลต่อค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป⁴ สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วิธีการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์รูปแบบการคูณ เนื่องจากอนุกรมเวลาปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มากของข้อมูลชุดที่ 1 ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 มีอัตราส่วนของความผันแปรตามฤดูกาลต่อค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป⁶ ดัง Figure 1 สมการที่ใช้ในการพยากรณ์คือ

$$Y_{t+m} = (S_t + b_t m) l_{t-L+m} \tag{2}$$

โดยที่

Y_{t+m} แทนค่าพยากรณ์ ณ ช่วงเวลา t+m

X_t แทนค่าข้อมูลจริง ณ ช่วงเวลา t

L แทนช่วงฤดูกาล (จำนวนเดือนใน 1 ปี)

m แทนระยะเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

$$S_t = a \frac{X_t}{l_{t-L}} + (1 - a)(S_{t-1} + b_{t-1})$$

$$b_t = g(S_t - S_{t-1}) + (1 - g)b_{t-1}$$

$$l_t = b \frac{X_t}{S_t} + (1 - b)l_{t-L}$$

การพยากรณ์โดยวิธีแยกองค์ประกอบ

อนุกรมเวลาที่เก็บรวบรวมมาในช่วงเวลาที่ต่างกัน ได้แก่ ปี ไตรมาส เดือน สัปดาห์ วันหรือชั่วโมง อาจจะมีส่วนประกอบที่ต่างกันดังนั้นการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์อนุกรมเวลาจะทำได้โดยการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาออกเป็น 4 องค์ประกอบได้แก่ แนวโน้ม (T) การผันแปรตามฤดูกาล (S) การผันแปรตามวัฏจักร (C) และความไม่แน่นอน (I) โดยสมการของการพยากรณ์แบบวิธีแยกองค์ประกอบสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ⁶ คือ

1. การแยกองค์ประกอบแบบการคูณ

$$Y_t = T_t \cdot S_t \cdot C_t \cdot I_t \tag{3}$$

2. การแยกองค์ประกอบแบบการบวก

$$Y_t = T_t + S_t + C_t + I_t \tag{4}$$

โดยที่

Y_t แทนค่าพยากรณ์ ณ ช่วงเวลา t

T_t แทนค่าประมาณของแนวโน้ม ณ ช่วงเวลา t เมื่อ

$$T_t = b_0 + b_1 t$$

S_t แทนค่าประมาณของการแปรผันตามฤดูกาล ณ

ช่วงเวลา t เมื่อ $S_t = \frac{Y_t}{T_t \cdot C_t \cdot I_t}$

C_t แทนค่าประมาณของการแปรผันตามวัฏจักร ณ

ช่วงเวลา t เมื่อ $C_t = \frac{Y_t}{T_t \cdot S_t \cdot I_t}$

I_t แทนค่าประมาณของความไม่แน่นอน ณ

ช่วงเวลา t เมื่อ $I_t = \frac{C_t \cdot I_t}{C_t}$

การพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์

ในการวิเคราะห์ตัวแบบ เนื่องจากจะทำการตรวจสอบข้อมูลว่าเป็นสเตชันนารี(stationary) หรือไม่โดยพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลา หรือพิจารณากราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตนเอง(Autocorrelation Function: ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตนเองส่วนย่อย (Partial Autocorrelation Function: PACF) ถ้าพบว่าอนุกรมเวลาไม่เป็นสเตชันนารี จะต้องแปลงใหม่ให้เป็นสเตชันนารี ทำได้โดยการจำกัดแนวโน้ม กำจัดฤดูกาล แล้วค่อยพิจารณากำหนดรูปแบบการพยากรณ์ SARIMA p, d, q, P, D, Q^{2,7} ที่คาดว่าเหมาะสม โดยตรวจสอบจากกราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อน หรือใช้เกณฑ์สารสนเทศเบย์เซียน (Bayesian Information Criterion: BIC) ต่ำที่สุด มีค่าสถิติ Ljung-Box Q ที่ไม่มีนัยสำคัญ และตัวแบบทั่วไปของวิธีนี้คือ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average: SARIMA p, d, q, P, D, Q^{7,8} แสดงดังสมการที่ (5)

$$f_p(B) F_p(B^s) (1-B)^d (1-B^s)^D Y_t = d + q_q(B) Q_Q(B^s) e_t \quad (5)$$

โดยที่

Y_t แทนค่าพยากรณ์ ณ ช่วงเวลา t

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

n แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

s แทนจำนวนคาบของฤดูกาล

d และ D แทนลำดับของการหาผลต่าง และผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

B แทนตัวดำเนินการถอยหลัง (Backward Operator) โดยที่ $B^s Y_t = Y_{t-s}$

e_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระกัน ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา

$d = mf_p(B) F_p(B^s)$ แทนค่าคงตัว โดยที่ m แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่ (Stationary)

$f_p B = 1 - f_1 B - f_2 B^2 - \dots - f_p B^p$ (แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองแบบไม่มีฤดูกาลอันดับที่ p (Non-Seasonal Autoregressive Operator of Order p : AR(p))

$F_p(B^s) = 1 - F_1 B^s - F_p B^{2s} - \dots - F_p B^{ps}$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองแบบมีฤดูกาลอันดับที่ P (Seasonal Autoregressive Operator of Order P : SAR(P))

$q_p(B) = 1 - q_1 B - q_p B^2 - \dots - q_p B^q$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีฤดูกาลอันดับที่ q (Non-Seasonal moving Average Operator of Order q : MA(q))

$Q_Q(B^s) = 1 - Q_1 B^s - Q_2 B^{2s} - \dots - Q_Q B^{Qs}$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบมีฤดูกาลอันดับที่ Q (Seasonal moving Average Operator of Order Q : SMA(Q))³

การเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์วิธีที่ใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์จะอาศัยหลักการ การเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์ที่คำนวณได้กับข้อมูลจริงในช่วงเวลา t หากค่าพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนมากอาจหมายถึงวิธีการที่ใช้ยังไม่เหมาะสมหรืออาจ

จำเป็นต้องเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์บางค่าให้เหมาะสม สำหรับงานวิจัยนี้ใช้วิธีวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ 2 วิธีคือ

1) โดยใช้เกณฑ์เบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD)

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |e_t|}{n} \quad (6)$$

2) โดยใช้เกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n}} \quad (7)$$

โดยที่

X_t แทนค่าข้อมูลจริง ณ ช่วงเวลา t

Y_t แทนค่าพยากรณ์ ณ ช่วงเวลา t

e_t แทนค่าความคลาดเคลื่อน ณ ช่วงเวลา t

$$e_t = X_t - Y_t$$

การเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการศึกษาตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 5 วิธี โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 1 แล้วนำข้อมูลชุดที่ 2 มาใช้ตรวจสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ โดยพิจารณาจากค่า MAD และ RMSE ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด จะถือว่าตัวแบบการพยากรณ์นั้นมีความแม่นยำที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด แล้วจะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยจระเข้มากอำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาชุดที่ 1 คือปริมาณน้ำรายเดือนในอ่างเก็บน้ำห้วยจระเข้มากอำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 120 เดือน Figure 1 พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีลักษณะความผันแปรตามฤดูกาล

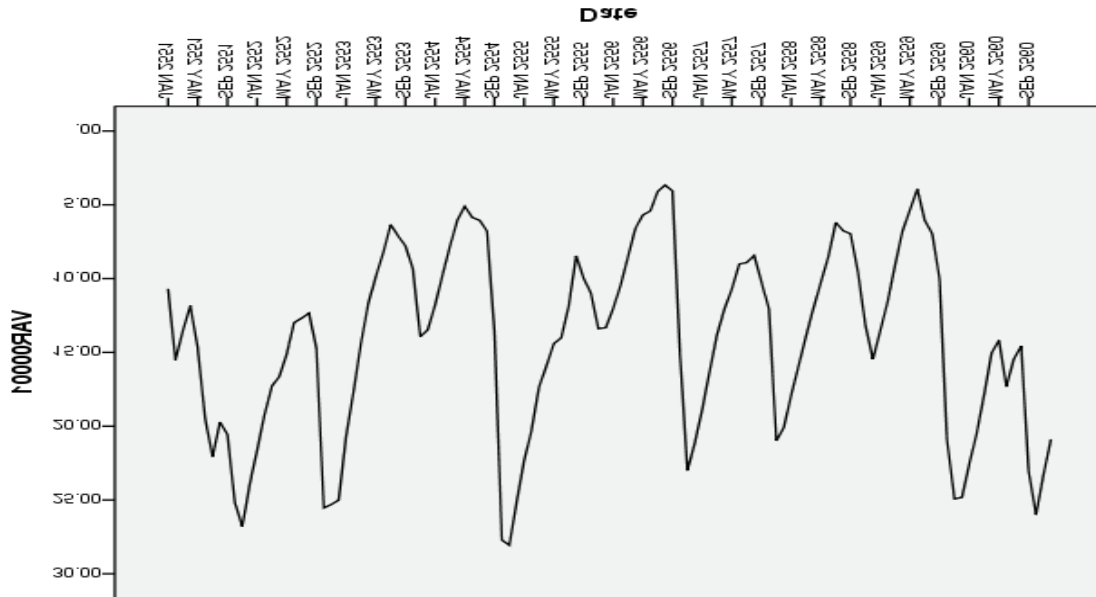


Figure 1 Movement characteristics of Time series The quantity of wather (Million cubic meters) in Huai Jorakhe Mak Reservoir, Mueang District, Buriram Province from January, 2008 to December, 2017

ผลการพยากรณ์โดยวิธีปรับเรียบเอ็กโพแนชเชียลแบบโฮลท์

จากสมการที่ (1) คำนวนค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ล่วงหน้า 12 เดือน ได้ตั้ง Figure 4 และแสดงค่าพยากรณ์ได้ตั้ง Table 1 โดยที่ $a = 0.9$ และ $d = 0.649$

ผลการพยากรณ์โดยวิธีปรับเรียบเอ็กโพแนชเชียลของวินเทอร์รูปแบบการคูณ

จากสมการที่ (2) คำนวนค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ล่วงหน้า 12 เดือน ได้ตั้ง Figure 4 และแสดงค่าพยากรณ์ได้ตั้ง Table 1 โดยที่ $a = 0.27$, $b = 0$ และ $g = 0.38$

ผลการพยากรณ์โดยวิธีแยกองค์ประกอบ

1) การแยกองค์ประกอบแบบการคูณ จากสมการที่ (3) คำนวนค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ล่วงหน้า 12 เดือน ได้ตั้ง Figure 4 และแสดงค่าพยากรณ์ได้ตั้ง Table 1

2) การแยกองค์ประกอบแบบการบวก จากสมการที่ (4) คำนวนค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ล่วงหน้า 12 เดือน ได้ตั้ง Figure 4 และแสดงค่าพยากรณ์ได้ตั้ง Tabal 1

ผลการพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์

จากการตรวจสอบข้อมูลชุดที่ 1 ตรวจสอบข้อมูลเพื่อพิจารณาว่าอนุกรมเวลาเป็นสเตชันนารีหรือไม่นั้น ผู้วิจัยได้พิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลา ตั้ง Figure 1 และกราฟ ACF และ PACF Figure 2

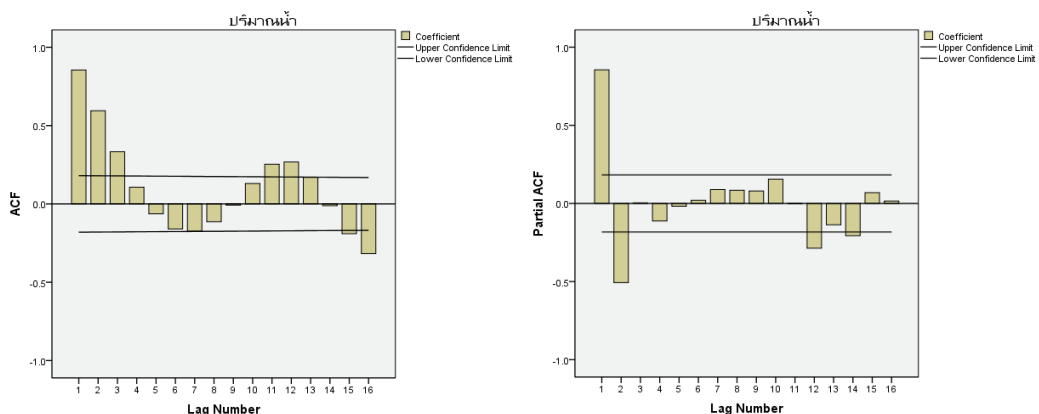


Figure 2 graph ACF and PACF of the quantity of water content in Huai Jorakhe Mak Reservoir, Mueang District, Buriram Province from January, 2008 to December, 2017

จาก Figure 1 และ Figure 2 พบว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีลักษณะไม่เป็นสเตชันนารี เนื่องจากมีส่วนประกอบของแนวโน้มและมีอิทธิพลของฤดูกาล จึงทำการแปลงอนุกรมเวลา

และโดยผลต่าง (d = 1) เพื่อกำจัดแนวโน้มและหาผลต่างฤดูกาล (D = 1) เพื่อกำจัดอิทธิพลของฤดูกาลทำให้ข้อมูลเป็นสเตชันนารี ได้กราฟ ACF และ PACF ดัง Figure 3

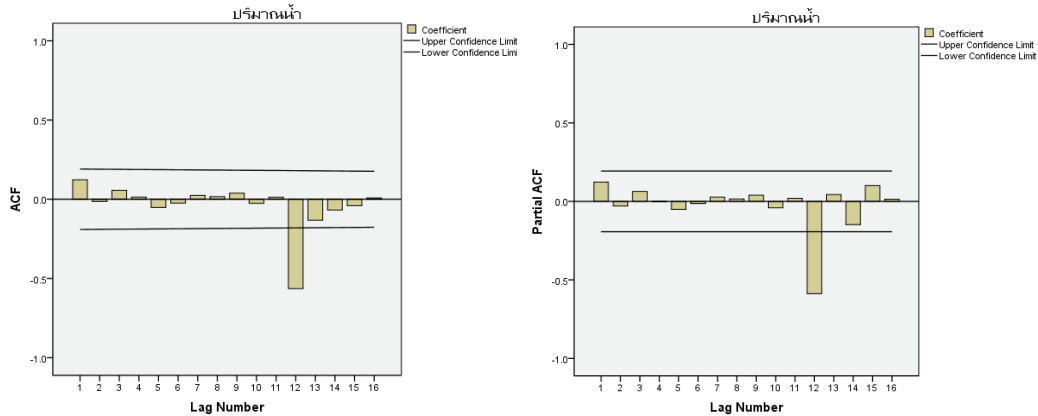


Figure 3 graph ACF and PACF of the discrepancy when converting data to find differences (d = 1) and find the season difference (D=1)

จาก Figure 3 พบว่าการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1 ทำให้อนุกรมมีความแปรผันอย่างคงที่ และพบว่า ACF และ PACF ไม่มีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาฤดูกาลพบว่า ACF และ PACF ณ lag 12 ทั้งสองจุดมีนัยสำคัญ ดังนั้นตัวแบบที่เหมาะสมจึงควรเป็นตัวแบบที่มีส่วนประกอบจาก Moving Average (MA), Seasonal Moving Average(SMA), Autoregressive (AR) และ Seasonal Autoregressive ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดค่า p, q, D และ Q ที่คาดว่าจะเป็นไปได้ให้กับตัวแบบ SARIMA (p, d, q) (P, D, Q) พร้อมทั้งประมาณค่าพารามิเตอร์โดยใช้โปรแกรม SPSS ซึ่งพบว่าตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์คือตัวแบบ SARIMA (0, 1, 1) (0, 1, 1) มีค่าคงที่ได้ผลดัง Figure 4 และแสดงค่าพยากรณ์ได้ดัง Table 1 โดย d = 0.187, q₁ = -0.237 และ Q₁ = -0.984 โดย BIC มีค่าเท่ากับ 2.164 ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับตัวแบบอื่นๆ และจากสถิติทดสอบ Modified Box-Pierce (Ljung-Box) คำนวณ ณ lag 18 ทั้งสองจุดมีค่า p-value เท่ากับ 0.836 ซึ่งค่ามีมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์

การเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์ทั้ง 5 วิธีโดยใช้เกณฑ์เบี่ยงเบนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) และเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ได้ผลดัง Table 1

การเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการศึกษาตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 5 วิธีโดยใช้ข้อมูลชุดที่ 1 แล้วนำข้อมูลชุดที่ 2 ใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์ โดยพิจารณาจากค่า MAD และ RMSE และจาก Table 1 พบว่าวิธีบอซ-เจนกินส์ มีความแม่นยำในการพยากรณ์มากที่สุดเนื่องจากให้ค่า MAD และ RMSE ต่ำที่สุดจากสมการที่ (5) สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$(1 - B)^1(1 - B^{12})Y_t = d + [(1 - q_1B)(Q_1B^{12})]e_t$$

$$1 - B - B^{12} + B^{13}Y_t = d + 1 - q_1B - Q_1B^{12} - q_1Q_1B^{13}e_t$$

$$Y_t = d + Y_{t-1} + Y_{t-12} - Y_{t-13} - q_1e_{t-1} - Q_1e_{t-12} + q_1Q_1e_{t-13} + e_t$$

จากการแทนค่าประมาณพารามิเตอร์จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับพยากรณ์แสดงได้ดังนี้

$$Y_t = Y_{t-1} + Y_{t-12} - Y_{t-13} + .237e_{t-1} - .984e_{t-12} - .233e_{t-13} - .187$$

โดยที่

- Y_t แทนค่าพยากรณ์ ณ ช่วงเวลา t
- Y_{t-j} แทนอนุกรมเวลา ณ ช่วงเวลา t - j
- X_{t-j} แทนค่าข้อมูลจริง ณ ช่วงเวลา t - j
- e_{t-j} แทนค่าความคลาดเคลื่อน ณ ช่วงเวลา t - j
- e_{t-j} = X_{t-j} - Y_{t-j}

Table 1 True value and prediction The quantity of wather (Million cubic meters) in Huai Jorakhe Mak Reservoir, Mueang District, Buriram Province from January, 2018 to December, 2018

Month	True Value	Prediction In Advance				
		Holt	Winter Multiplicative	Classical Decomposition Method		Box-Jenkins
				Multiplicative	Additive	
January	18.71	19.45	7.78	14.35	15.77	17.75
February	16.09	17.68	10.29	13.85	13.73	16.58
March	14.26	15.92	8.09	11.6	11.51	12.82
April	12.31	14.15	6.31	9.75	9.77	12.00
May	9.97	12.39	6.88	8.52	8.56	10.83
June	7.76	10.62	7.86	7.95	8.03	9.16
July	5.67	8.86	7.48	7.32	7.24	6.45
August	3.28	7.09	5.40	7.09	6.92	4.59
September	1.39	5.33	4.29	9.33	9.43	5.28
October	0.87	3.56	3.62	15.12	15.11	6.38
November	2.23	1.80	2.12	18.07	17.97	2.45
December	3.44	0.03	0.34	17.26	17.28	1.15
Fault Of prediction	MAD	2.38	3.74	5.90	5.78	1.62
	RMSE	2.62	4.74	7.99	7.92	2.22

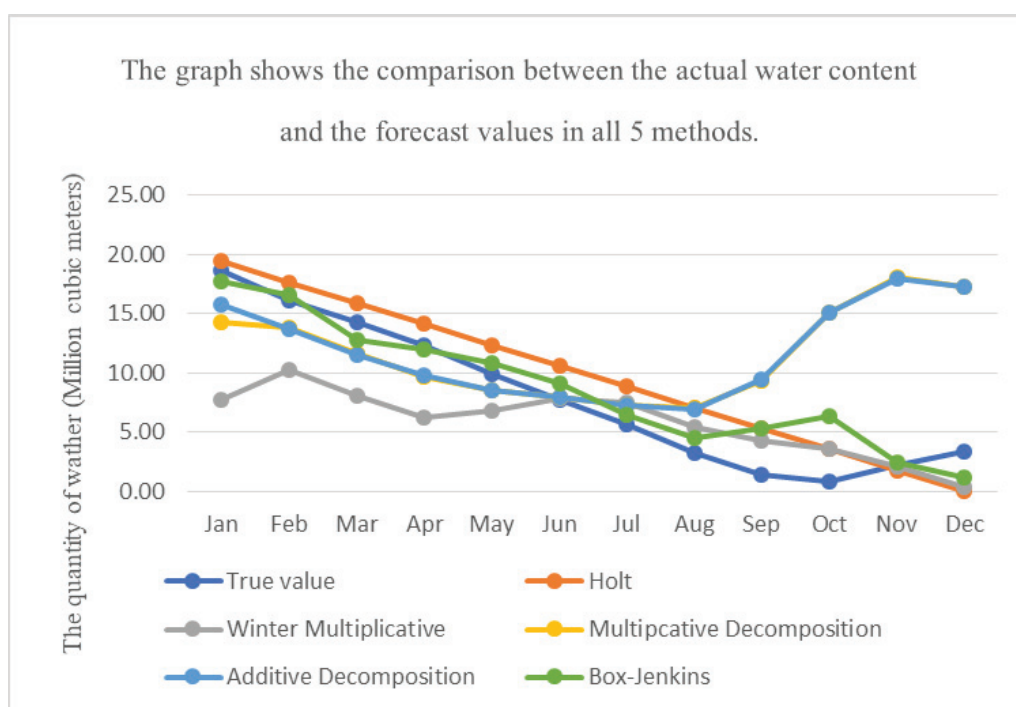


Figure 4 The graph shows a comparison of monthly water content in Huai Jorakhe Mak Reservoir, Mueang District, Buriram Province. Between the true value and the forecasting values in all 5 methods.

วิจารณ์และสรุปผล

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์และคัดเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือนจากโครงการชลประทานบุรีรัมย์ สำนักชลประทานที่ 8 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 132 เดือน โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 120 เดือน สำหรับการศึกษาตัวแบบพยากรณ์ 5 วิธี ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 12 เดือน นำมาใช้สำหรับการตรวจสอบความแม่นยำของค่าพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์เบี่ยงเบนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) และเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ผลการศึกษาพบว่าวิธีการพยากรณ์ด้วยวิธีบอซ-เจนกินส์เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมที่สุด และมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการพยากรณ์ดังนี้

$$Y_t = Y_{t-1} + Y_{t-12} - Y_{t-13} + .237e_{t-1} - .984e_{t-12} - .233e_{t-13} - .187$$

จากวิธีบอซ-เจนกินส์โดยที่ Y_t แทนค่าพยากรณ์ ณ ช่วงเวลา t ของข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือนในอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนการวิจัยจากสาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ และขอขอบคุณหัวหน้าหน่วยงานอ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก โครงการชลประทานบุรีรัมย์ สำนักชลประทานที่ 8 ที่ให้ข้อมูลงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. อ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://ridceo.rid.go.th/buriram/irr_hjm.html. 2562.
2. ทรงศิริ แต่สมบัติ. การพยากรณ์เชิงปริมาณ. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ; 2549.
3. วชิรารักษ์ โอสรรัมย์ วิชระ วงศา. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยในเขตพื้นที่เทศบาลเมืองบุรีรัมย์. การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติครั้งที่ 3 ; 2562.

4. วรางคณา กิรติวิบูลย์. ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการจำหน่ายเบียร์ในประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. 2558 ; 23(5) : 731-742
5. สุพรรณิ อึ้งปัญสัตตวงศ์. เทคนิคการพยากรณ์เชิงสถิติ. พิมพ์ครั้งที่ 1 ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น ; 2551.
6. อัจฉรา จันทร์ฉาย. เทคนิคการพยากรณ์เพื่อการจัดการ. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ; 2557.
7. Bowerman, B.L. and O'Connell, R.T. Forecasting and Time Series: An Applied Approach, 3rd Ed. Duxbury Press: California ; 1993.
8. Box, G.E.P. Jenkins, G.M. and Reinsel, G.C. Time Series Analysis: Forecasting and Control. 3rd Edition. New Jersey: Prentice Hal ; 1994.

การพยากรณ์ค่า Scale ของแผ่น PCB ชนิด Multilayer โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง

The scale predictions of multilayer PCB board by using machine learning

นัทธมน พลายนินทร์¹, ชนาพันธุ์ ชนาเนตร², วิกานดา ผาพันธุ์^{2*}
Nutthamon Plai-in¹, Chanaphun Chanane², Wikanda Phaphan^{2*}

Received: 14 January 2020 ; Revised: 27 May 2020 ; Accepted: 10 July 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์ค่า Scale ของแผ่น PCB ชนิด Multilayer เพื่อกำหนดค่า Scale ของงาน เมื่อผ่านกระบวนการ Lamination Press แล้วทำให้แผ่นงานมีขนาดที่ได้ตรงตามความต้องการของลูกค้า โดยเก็บรวบรวมข้อมูลการกำหนดค่า Scale ของงานประเภท Multilayer จากบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งย้อนหลัง ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 ข้อมูลที่ศึกษาประกอบไปด้วยตัวแปรตาม คือค่าเปอร์เซ็นต์ Scale ของงานชนิด Multilayer ตัวแปรอิสระ คือปัจจัยที่ส่งผลต่อการกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ Scale ของแผ่น PCB ชนิด Multilayer ได้แก่ Layer Count (จำนวนชั้นของงาน), Distance (ระยะของแนวงาน), Core Thickness (ความหนาของ Core), Thickness Cu Side (ความหนาของ Copper บนแผ่น Laminate Core นั้นๆ), Cu Foil (ความหนาของ Copper Foil), Tg (Glass Transition Temperature ของ Material), Cutdirection (แนวของงาน), Axis (แกนของงาน), Streak (แนวงาน Warp x Fill) และ Material Brand (ชนิดของแบรนด์ Material) ทำการศึกษาด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression : MLR) วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์ รีเกรสชัน (Support Vector Regression : SVR) และวิธีต้นไม้ตัดสินใจแบบรีเกรสชัน (Decision Tree Regression) ซึ่งเป็นตัวแบบของการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) ในการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ประมวลผลโดยใช้โปรแกรม RStudio และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์โดยพิจารณาจากความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error : MSE) และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percent Error : MAPE) ผลการวิจัยพบว่าตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันเป็นตัวแบบที่ดีที่สุดและที่เหมาะสมกับข้อมูลการพยากรณ์ค่า Scale ของแผ่น PCB ชนิด Multilayer โดยมีค่า MSE และค่า MAPE น้อยที่สุด ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการกำหนดค่า Scale และลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในการกำหนดค่า Scale

คำสำคัญ: แผ่นพิมพ์วงจรอิเล็กทรอนิกส์, การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ, ซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน, ต้นไม้ตัดสินใจแบบรีเกรสชัน

Abstract

The purposes of this research were to predict and assign a scale value of multilayer PCB. After the PCB board underwent a process of lamination press, it made sheets be sized according to customers' needs. The collected data came from an electronics components manufacturing company in which there are the configuration data of the scale of the multilayer PCB board which went back from January 2018 to June 2019. The dependent variables were the percentage scale values of the multilayer PCB board and the independent variables were factors affecting the determination of the percentage scale values of the multilayer PCB board. Those factors were layer count, distance,

¹ นักศึกษา, ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชาชื่น 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 1080

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชาชื่น 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 1080

¹ Student, Department of Applied Statistics, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800, Thailand.

² Assistant Professor, Department of Applied Statistics, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800, Thailand.

* Corresponding author: Tel: +66 931414615, E-mail: wikanda.p@sci.kmutnb.ac.th

core thickness, thickness Cu side (thickness of copper on laminate core board), thickness Cu Foil, Tg (glass transition temperature of material), cut direction, Axis, streak (Warp x Fill) and material brand. The models we used for analyzing were a multiple linear regression method (MLR), a support vector regression method (SVR), and a decision tree regression method. Those methods were the supervised learning models in machine learning and they were processed by using the RStudio program, mean square error (MSE) and mean absolute percent error (MAPE) for comparison of the efficiency of models for scale predictions. The result revealed that the MSE and the MAPE value of the support vector regression model are minimal, which means it is the most suitable model for the data of scale predictions of multilayer PCB board due to helping increase the accuracy in assigning scale values and helping save the time of the production process as a consequence of errors in assigning scale values.

Keyword: Printed circuit board, Multiple Linear Regression, Support Vector Regression, Decision Tree Regression

บทนำ

“แผ่นพิมพ์วงจรอิเล็กทรอนิกส์” หรือ PCB (PRINTED CIRCUIT BOARD) เป็นส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นทางเดินสัญญาณไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่อยู่บนแผงวงจร ใช้สำหรับต่อวงจร อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อประกอบเป็นวงจรแทนการต่อวงจรด้วยสายไฟที่มีความซับซ้อนและยุ่งยาก ในปัจจุบันแผ่น PCB ถูกผลิตและนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุปกรณ์โทรคมนาคมต่างๆ รวมถึง เครื่องมือทางการแพทย์ โทรศัพท์มือถือ และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์

โดยทางบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่คณะผู้วิจัยศึกษา มีการผลิตแผ่นวงจรอยู่ 2 แบบ คือ การผลิตแบบ 2 หน้าเคลือบรู (Double Sided PCB) และการผลิตแบบหลายชั้น (Multilayer PCB) ในปัจจุบันบริษัท มีความสามารถในการผลิตได้ตั้งแต่ 4 ถึง 24 ชั้น ซึ่งมีความซับซ้อนกว่าและใช้เทคโนโลยีสูงกว่าการผลิตแผ่นพิมพ์วงจรชนิด 2 หน้า กระบวนการผลิตแผ่น PCB ชนิด Multilayer จะต้องผ่านกระบวนการ Lamination Press ซึ่งเป็นการอัดงานให้ติดเป็นเนื้อเดียวกันโดยผ่านความร้อน ส่งผลให้ขนาดของงานมีการเปลี่ยนแปลง (Dimension Change) จึงต้องมีการกำหนด Scale ของงาน เพื่อทำการเผื่อระยะของแผ่นงาน ก่อนถึงกระบวนการ Lamination Press

ขั้นตอนการกำหนดค่า Scale ในปัจจุบันเป็นขั้นตอนที่ใช้ประสบการณ์ในการกำหนดค่า Scale และการเปรียบเทียบค่า Scale จากงานเก่าที่มีลักษณะโครงสร้างงานคล้ายกัน ซึ่งส่งผลให้ค่า Scale มีความแม่นยำค่อนข้างต่ำ และอาจเกิดการผิดพลาดจากการกำหนดค่า Scale ส่งผลให้ขนาดของแผ่นงานที่ได้ไม่ตรงตามที่ลูกค้ากำหนด จึงต้องมีการปรับค่า Scale ใหม่จนกว่าจะได้ขนาดของแผ่นงานที่เหมาะสมหรือเรียกว่าการลองผิดถูก (Trial and Error) ขั้นตอนดังกล่าวส่งผล

ให้เกิดความล่าช้าในการผลิตงาน ซึ่งถือเป็นการเสียโอกาส เสียเวลา และเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตงานใหม่ให้กับลูกค้า ดังนั้นการกำหนดค่า Scale ให้เหมาะสมกับลักษณะโครงสร้างงานนั้นๆ ในระยะเวลาที่สั้น จะต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดค่า Scale เช่น จำนวนชั้นของงาน ความหนาของ Core และ Material Brand เป็นต้น

จากความสำคัญและปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษา การถดถอยเชิงสถิติ (Statistical Regression) ของการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression : MLR) วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน (Support Vector Regression : SVR) และวิธีต้นไม้ตัดสินใจแบบรีเกรสชัน (Decision Tree Regression) หาตัวแบบที่เหมาะสมกับข้อมูลการกำหนดค่า Scale ของแผ่น PCB ชนิด Multilayer เพื่อให้การกำหนดค่า Scale มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น รวมถึงช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการผลิตงานใหม่ โดยใช้โปรแกรม RStudio เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และหาตัวแบบพยากรณ์ โดยเกณฑ์ที่ใช้วัดความแม่นยำของตัวแบบ ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error : MSE) และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percent Error : MAPE)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการกำหนดค่า Scale ของงานชนิด Multilayer
2. เพื่อกำหนดค่า Scale ของแผ่น PCB ชนิด Multilayer อย่างเป็นระบบโดยใช้โปรแกรม RStudio ในการวิเคราะห์และพยากรณ์
3. เพื่อลดระยะเวลาในขั้นตอนการกำหนดค่า Scale

กระบวนการผลิตแผ่น PCB ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดค่า Scale

ขั้นตอนที่ 1 : Material Cutting

ขั้นตอนการตัดแผ่น Laminate ที่จะนำมาสร้างลายวงจร ต้องตัดให้มีขนาดตามที่แผ่นออกแบบการผลิตได้กำหนดไว้

ขั้นตอนที่ 2 : Thin Core

การสร้างเส้นลายวงจรบนแผ่น Laminate มีขั้นตอนการปฏิบัติงานดังนี้

(1) Thin Core Chemical Clean

การเตรียมผิวทำความสะอาดผิวบอร์ดด้วยน้ำยาเคมี

(2) Thin Core Laminator

การนำงานที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว รีด Film คลุมทับทั้ง 2 ด้าน

(3) Thin Core Exposure

การถ่ายภาพแสงเพื่อสร้างลายวงจร

(4) Develop

การนำงานที่ผ่านการถ่ายภาพแสง ล้าง Film ส่วนที่ไม่ถูกการถ่ายภาพแสงออก

(5) Etching

การกัดทองแดงส่วนที่ไม่ใช่ลายวงจรออกทั้งหมด

(6) Strip Film

การล้าง Film ส่วนที่คลุมเส้นลายวงจรออก หลังจากงานผ่านการ Strip Film จะได้งานที่มีลายวงจรชั้นใน

ขั้นตอนที่ 3 : Automatic Optical Inspection

การตรวจสอบคุณภาพลายวงจรเปรียบเทียบกับต้นแบบลูกค้า

ขั้นตอนที่ 4 : Lamination

(1) Optical Punch

การเจาะรูร้อยตาไก่ (Rivet)

(2) Oxide Treatment

การเคลือบผิวด้วยน้ำยาเคมี

(3) Ply Up และ Lay Up

การนำชิ้นงานมาเรียงประกอบให้เป็นตัวงาน

(4) Lamination Press

การนำตัวงานที่ผ่านการเรียงมา Press อัดให้งานติดเป็นเนื้อเดียวกันด้วยความร้อน

ขั้นตอนที่ 5 : X-Ray Drill

นำงานที่ผ่านการ Press แล้วมาเจาะรูอ้างอิง

ตัวอย่างลักษณะการวางส่วนประกอบต่างๆ ของแผ่น

PCB ชนิด Multilayer แสดงดัง Figure 1 และ 2

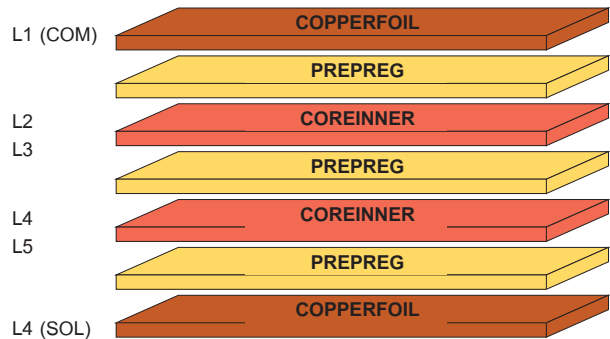


Figure 2 Multilayer 6 layer

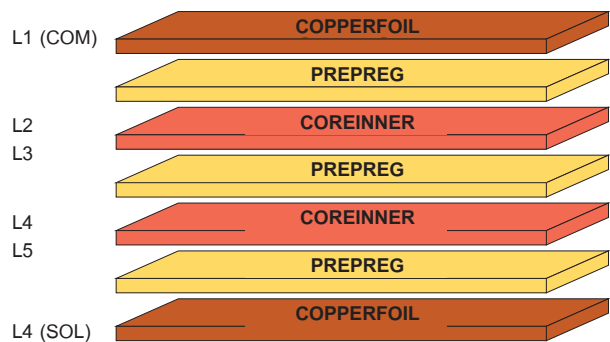


Figure 2 Multilayer 6 layer

Machine Learning

Machine Learning หรือ “การเรียนรู้ของเครื่อง” คือ การที่ทำให้เครื่องจักรสามารถคำนวณทำตามชุดคำสั่งได้หรือ ทำให้มีความสามารถในการเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยการเรียนรู้และพยายามเข้าใจรูปแบบความสัมพันธ์ข้อมูลงานใดงานหนึ่งเป็นตัวอย่างและเมื่อมีข้อมูลใหม่เข้ามาสามารถทำนายหรือตัดสินใจจากตัวอย่างด้วยตนเอง ซึ่งเป็น AI (Artificial Intelligent : ปัญญาประดิษฐ์) อีกอัลกอริทึมหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยม ง่ายต่อการเขียนโปรแกรมภาษา การประยุกต์ใช้งานผู้ใช้จะเขียนโปรแกรมภาษาให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้ด้วยตนเอง โดยป้อนข้อมูลให้กับโปรแกรมภาษาที่เขียนไว้ให้เรียนรู้เองจากข้อมูลที่ป้อนไปเรื่อยๆ จนถึงจุดที่โปรแกรมภาษาที่เขียนไว้เริ่มจำแนกได้แม่นยำแล้วจึงเอามาใช้งาน โดยการเรียนรู้ของเครื่องสามารถแบ่งประเภทได้เป็น 2 ประเภทหลักใหญ่ๆ¹⁻⁴ ได้แก่

1. การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning)

สามารถนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาได้ 2 รูปแบบ คือ การถดถอยเชิงสถิติ (Statistical Regression) และการแบ่งประเภท (Classification)

2. การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning)

โดยส่วนใหญ่จะนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาในเรื่องของการแบ่งกลุ่ม (Cluster)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์และการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (Dependent Variable) หรือตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ที่มีอิทธิพลเนื่องมาจากตัวแปรอิสระ (Independent Variable) หรือตัวแปรทำนาย (Predictor Variable) ตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป โดยอาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างกลุ่มของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตามมาใช้ในการประมาณค่าหรือทำนายค่าของตัวแปรตามได้⁵

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

เมื่อ

Y คือตัวแปรตาม

β_0 คือค่าคงที่ (Constant) ของสมการถดถอย

β_i คือค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ของตัวแปรอิสระ เมื่อ $i = 1, 2, \dots, k$

x_i คือตัวแปรอิสระที่ i

k คือจำนวนตัวแปรอิสระในสมการถดถอย

ε คือความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Random Error)

ซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน

ซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน (Support Vector Regression : SVR) ได้แนวคิดและพัฒนามาจาก ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับงานด้านการประมาณค่าหรือการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) ซึ่งใน SVM จะใช้สมการระนาบเกิน (Hyperplane) ทำการแบ่งข้อมูลออกจากกัน แต่ SVR นั้นจะใช้ Hyperplane ในการพยากรณ์ค่า⁶⁻⁸ โดยมีลักษณะสมการเป็นดังนี้

$$f(x) = (w \cdot x) + b \quad (1)$$

เมื่อ

w คือเวกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (Weight)

b คือค่าความคลาดเคลื่อน (Bias)

x คือเวกเตอร์ข้อมูลนำเข้า (Input data) แสดงในรูปของเวกเตอร์คอลัมน์ $(x_1, \dots, x_n)^T$ ขนาดเท่ากับ n ; $x_i \in R$; $i = 1, \dots, n$

R คือเซตของจำนวนจริง

หลักการในการหา Hyperplane สำหรับใช้แทนกลุ่มของข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด จะหาตำแหน่งของข้อมูลที่เป็นซัพพอร์ตเวกเตอร์ (Support Vector) ซึ่งจะเป็นข้อมูลในตำแหน่งที่อยู่ห่างจาก Hyperplane มากที่สุด และตำแหน่งดังกล่าวจะอยู่บนเส้นแบ่งระยะของเซต (Boundary Line) ที่กำหนดขึ้น

ซึ่งในทางทฤษฎีจะพยายามให้ข้อมูลทั้งหมดอยู่ภายใน Boundary Line และสร้าง Hyperplane ที่ใช้แทนกลุ่มข้อมูลขึ้น เพื่อใช้ประมาณค่าให้ใกล้เคียงกับตัวอย่างข้อมูลเข้าชุด โดย Hyperplane ดังกล่าวจะอยู่ในตำแหน่งที่รักษาระยะห่างที่มากที่สุด ระหว่างตำแหน่งข้อมูลที่เป็น Support Vector

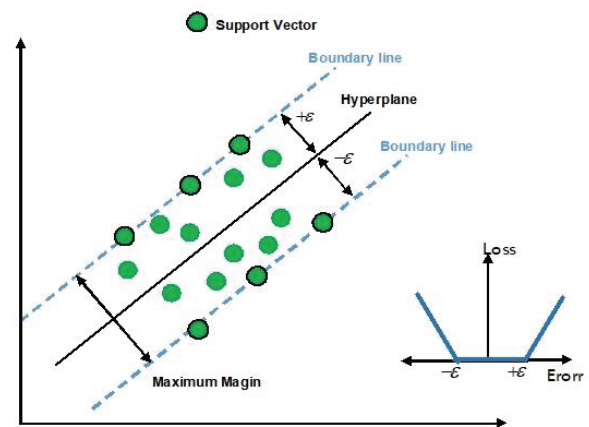


Figure 3 Show how to find the optimal hyperplane line to represent the data group⁹

สำหรับ SVR กรณีปัญหาแบบไม่เชิงเส้น (Non-Linear) ไม่สามารถใช้วิธีแบบเชิงเส้น (Linear) ดังนั้นจึงต้องใช้ฟังก์ชันเคอร์เนล (Kernel Function) ในการส่งผ่าน (Mapping) ข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้นเพื่อให้สามารถใช่วิธีการแบบเชิงเส้นได้ ซึ่งประเภทของ Kernel Function นั้นมีหลายประเภท เช่น Linear Kernel Function, Sigmoid Kernel Function และ Gaussian Radial Basis (RBF) เป็นต้น

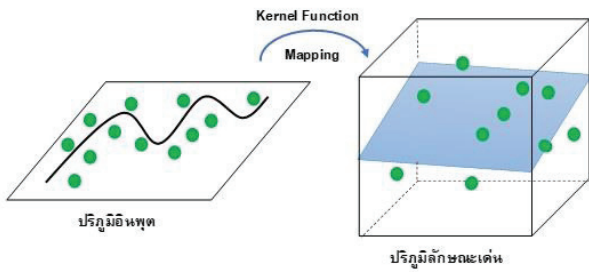


Figure 4 Mapping Kernel Function in Support Vector Regression

ฟังก์ชันเคอร์เนลที่นิยมใช้ในการสร้างตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน คือ Gaussian Radial Basis Function⁷

$$k(x, x_i) = \exp(-\gamma \|x - x_i\|^2), \gamma > 0 \quad (2)$$

ดังนั้นสมการ Hyperplane สามารถเขียนใหม่ในรูปแบบสมการระนาบเกินไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้ฟังก์ชันเคอร์เนลได้ดังนี้

$$f(x) = \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) k(x_i, x_j) + b \quad (3)$$

ต้นไม้ตัดสินใจแบบรีเกรสชัน

Decision Tree หรือเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยนำข้อมูลมาสร้างการพยากรณ์ในรูปแบบของโครงสร้างต้นไม้ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ Decision Tree Classification (ต้นไม้สำหรับการจัดกลุ่ม) และ Decision Tree Regression (ต้นไม้สำหรับการทำนายค่า) โดยโครงสร้างของต้นไม้ตัดสินใจจะประกอบไปด้วย

- โหนดราก คือ ตำแหน่งเริ่มต้นของต้นไม้ตัดสินใจ
- โหนดกิ่ง คือ โหนดลูก มีจำนวนโหนดขึ้นอยู่กับ Condition ของโหนดแม่
- โหนดใบ คือ ผลลัพธ์ที่ต้องการในการทำนายของตัวแบบพยากรณ์

ในกรณี Decision Tree Regression เป็นเทคนิคการทำให้ผลลัพธ์เป็นค่าจำนวนจริงหรือเป็นผลลัพธ์ที่ต่อเนื่องกัน (Continuous Output) ของสิ่งที่ต้องการพยากรณ์ โดยหลักการสร้างจะเริ่มสร้างจากโหนดรากและแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 เส้นทาง โดยใช้กฎ If-else ดัง Figure 5 ในการแบ่งต้นไม้ และ

ทำการแตกโหนดไปเรื่อยๆ จนถึงโหนดใบ จะทำการพยากรณ์ค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ ด้วยการหาค่าเฉลี่ยของโหนดผลลัพธ์ และค่าเฉลี่ยที่ได้จะเป็นผลลัพธ์ของการพยากรณ์¹⁰⁻¹³

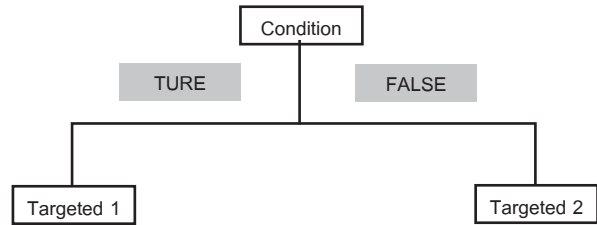


Figure 5 Show if-else statements used to divide the tree¹¹

ตัวอย่าง จาก Figure 6 เมื่อทำการแบ่งข้อมูลจะเห็นว่า ถ้าข้อมูล $k_1 \leq t_1$ และ $X_2 \leq t_2$ เป็นจริงทั้ง 2 เงื่อนไข ผลลัพธ์ของการพยากรณ์คือ R_1 โดยที่ R_1 คือค่าเฉลี่ยของโหนดผลลัพธ์

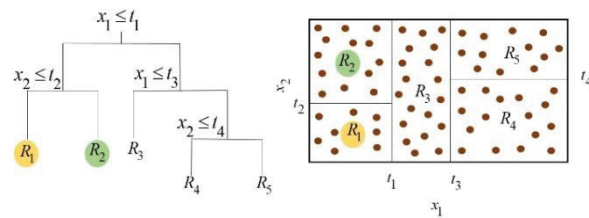


Figure 6 Previewing the data division of the Decision Tree Regression

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในเรื่องการสร้างตัวแบบเพื่อใช้พยากรณ์ค่า Scale ของแผ่น PCB ชนิด Multilayer ซึ่งมีกระบวนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลัก คือ

ขั้นตอนที่ 1 : การออกแบบโครงงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีรูปแบบการดำเนินงานโดยเก็บข้อมูลจากฐานข้อมูลในบริษัท ในลักษณะของการเก็บข้อมูลย้อนหลัง (Retrospective) เพื่อศึกษาหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการกำหนดค่า Scale และหาค่าตัวแบบเพื่อใช้พยากรณ์ค่า Scale ของแผ่น PCB ชนิด Multilayer

ขั้นตอนที่ 2 : ตัวแปรที่ใช้ในโครงงานวิจัย

1. ตัวแปรต้น (Independent Variable)
 - ตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative Variable)
 - (1) Layer Count คือจำนวนชั้นของงาน มีตั้งแต่ 4-24 ชั้น มีหน่วยเป็น layer

(2) Distance คือระยะของแฉงงาน มีหน่วยเป็น inches

(3) Core thickness คือความหนาของ Core มีหน่วยเป็น mill

(4) Thickness Cu Side คือความหนาของ Copper บนแผ่น Laminate Core นั้นๆ มีหน่วยเป็น Ounce

(5) Cu Foil คือความหนาของ Copper Foil ที่นำมาใช้ Press มีหน่วยเป็น Ounce

(6) Tg คือ Glass Transition Temperature ของ Material มีหน่วยเป็น Degree Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

- ตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative Variable)

(1) Cut direction คือแนวของงานมี 2 แบบ คือ Cut A และ Cut B ไม่มีหน่วย

(2) Axis คือ แกนของงานมี 2 แกน คือ แกน X และแกน Y ไม่มีหน่วย

(3) Streak คือแนวของงาน Warp x Fill ไม่มีหน่วย

(4) Material Brand คือชนิดของแบรนด์ Material ไม่มีหน่วย

2. ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ได้แก่ ค่า %Scale X และ %Scale Y

ขั้นตอนที่ 3 : การรวบรวมข้อมูล (Data Collection)

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแบบจำลองทางสถิติ โดยเก็บจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ซึ่งเป็นข้อมูลที่รวบรวมจากฐานข้อมูลของบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่คณะผู้วิจัยศึกษา โดยนำข้อมูลรายวัน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 มาวิเคราะห์หาตัวแบบในการพยากรณ์ค่า Scale ของแผ่น PCB ชนิด Multilayer

ขั้นตอนที่ 4 : การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)

กระบวนการในการเตรียมข้อมูลมีความสำคัญกับงานด้านการทำนาย สาเหตุที่ต้องมีการเตรียมข้อมูล คือ ข้อมูลมีค่าสูญหาย (Missing Value) หมายถึง ข้อมูลที่จัดเก็บบางส่วนอาจเป็นค่าว่าง ข้อมูลมีค่าผิดปกติ (Outlier) หมายถึง ข้อมูลที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่ควรจะเป็น หรืออาจเกิดจากความผิดพลาดในการจัดบันทึกข้อมูลและข้อมูลที่ได้ไม่มีความสม่ำเสมอ (Inconsistent) หมายถึง ข้อมูลอาจอยู่ในรูปแบบต่างกันหรืออาจมีหน่วยวัดที่ต่างกัน สามารถแก้ไขได้โดยการเตรียมข้อมูล ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. การคัดเลือกข้อมูล (Data Selection) ทำการคัดเลือกข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ และเป็นประโยชน์ต่อการพยากรณ์ สิ่งที่ผู้วิจัยสนใจศึกษาเป็นเรื่องของการกำหนดค่า Scale ซึ่งเลือกใช้ตัวแปรที่ระบุไว้ในขั้นตอนที่ 2

2. การกลั่นกรองข้อมูล (Data Cleaning) หลังจากคัดเลือกข้อมูลแล้ว พบว่าข้อมูลยังไม่สมบูรณ์ เช่น ค่าสูญหาย (Missing Value) และมีการเก็บข้อมูลซ้ำในฐานข้อมูล แก้ไขโดยการตัดแถวนั้นทิ้งไป โดยใช้โปรแกรม RStudio ในการแก้ไข

3. การแปลงรูปแบบข้อมูล (Data Transformation)

3.1 การจัดรูปแบบการเก็บข้อมูล

เมื่อคัดกรองข้อมูลที่ไม่ถูกต้องออกจากชุดข้อมูลแล้ว ได้ทำการจัดรูปแบบการเก็บข้อมูลใหม่โดยการแบ่งข้อมูลของแต่ละ Part Number ตามจำนวน Core Inner ของงานนั้นๆ และทำการแยกข้อมูลของแต่ละ Core Inner ด้วยแกนของงาน (แกน X และแกน Y) ทำให้ใน 1 Core Inner ของ Part Number จะแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 บรรทัด ซึ่งในการจัดรูปแบบดังกล่าวจะทำให้มีข้อมูลในการวิเคราะห์มากขึ้น และสามารถพยากรณ์ค่า Scale ในที่เดียวได้ทั้งแกน X และแกน Y

3.2 การ Encoding ตัวแปรเชิงคุณภาพ

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีตัวแปรเชิงคุณภาพ ยังไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ เพื่อสร้างตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ได้ จึงได้ทำการ Encode กับตัวแปรเชิงคุณภาพ โดยใช้วิธีการ Encode แบบ One-Hot Encoding คือ การแปลงข้อมูลให้เป็น Binary (0 กับ 1) โดยใช้คำสั่ง dummy_cols() จาก Packages "fastDummies" ในโปรแกรม RStudio

ขั้นตอนที่ 5 : การสร้างตัวแบบ (Modeling)

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างตัวแบบเพื่อพยากรณ์ค่า Scale ของแผ่น PCB ชนิด Multilayer ด้วยตัวแบบการพยากรณ์ 3 ตัวแบบ ได้แก่ ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน (Support Vector Regression) และตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจแบบรีเกรสชัน (Decision Tree Regression)

ขั้นตอนที่ 6 : การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบ (Evaluation)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error : MSE) และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percent Error : MAPE) เปรียบเทียบค่าเพื่อเลือกตัวแบบที่ดีที่สุดในการพยากรณ์ค่า Scale ของแผ่น PCB ชนิด Multilayer

ผลการวิจัย

ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression : MLR)

โปรแกรม RStudio มีฟังก์ชันพื้นฐานสำหรับคำนวณสถิติ คือ ANOVA และ Linear Regression Model ซึ่งใช้กับการนี้ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ที่เป็นข้อมูลต่อเนื่อง โดย Linear Regression ใช้เมื่อตัวแปรต้น (Independent Variable) เป็นข้อมูลตัวเลขต่อเนื่อง สามารถใช้คำสั่ง $lm()$ คำนวณตัวแบบ กำหนดให้ตัวแปรตามคือ ค่า Scale และตัวแปรต้นคือตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม โดยใช้คำสั่งในโปรแกรม RStudio ช่วยในการสร้างตัวแบบ ดัง Figure 7 ได้สมการถดถอยดังนี้

$$\begin{aligned} Scale\% = & 1.568x10^{-3} + 2.269x10^{-3} LayerCount \\ & -2.054x10^{-5} Distance + 7.586x10^{-5} Corethk \\ & -3.468x10^{-3} ThkcusideA + 9.164x10^{-3} ThkcusideB \\ & -3.548x10^{-4} Cufoil + 2.263x10^{-5} Tg \\ & -2.248x10^{-4} CutDirectionA \\ & -1.800x10^{-3} AxisX + 8.590x10^{-3} Streakfill \\ & -7.158x10^{-3} BrandTLM140MT \\ & -2.023x10^{-3} BrandTLM150MT \\ & +5.071x10^{-3} BrandTLM170T \\ & +3.897x10^{-3} BrandTLM170TF2 \\ & -2.258x10^{-3} BrandTLM150MTF2 \\ & -3.227x10^{-3} BrandPANASONICR1566W \\ & -1.682x10^{-3} BrandTLM140 \\ & -1.876x10^{-3} BrandSHENGYIS1000 \\ & +1.503x10^{-3} BrandTLM150HF \\ & +1.952x10^{-3} BrandSHENGYIS1000.2 \\ & +4.418x10^{-4} BrandSHENGYIS1000AUTOLAD1 \\ & +9.221x10^{-3} BrandMATSUSHITAR1566W \\ & +3.959x10^{-3} BrandNANYANP175RBH \\ & +1.813x10^{-3} BrandAUTOLAD3 \\ & -9.522x10^{-3} BrandTLM140MTREV1 \\ & +2.742x10^{-3} BrandISOLA370HR \end{aligned}$$

โดยที่

Scale% คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ Scale ของงานชนิด Multilayer

LayerCount คือ จำนวนชั้นของงาน

Distance คือ ระยะของแนวงาน

Corethk คือ ความหนาของ Core

ThkcusideA คือ ความหนาของ Cu บนแผ่น Laminate Core นั้นๆ หน้า A

ThkcusideB คือ ความหนาของ Cu บนแผ่น Laminate Core นั้นๆ หน้า B

Cufoil คือ ความหนาของ Copper Foil ที่นำมาใช้ Press

Tg คือ Glass Transition Temperature ของ Material

CutdirectionA คือ แนวของงาน Cut A

AxisX คือ แกน X ของงาน

Streakfill คือ แนวของงานด้าน fill

BrandTLM140MT คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 1

BrandTLM150MT คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 2

BrandTLM170T คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 3

BrandTLM170TF2 คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 4

BrandTLM150TF2 คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 5

BrandPANASONICR1566W คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 6

BrandTLM140 คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 7

BrandSHENGYIS1000 คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 8

BrandTLM150HF คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 9

BrandSHENGYIS1000.2 คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 10

BrandSHENGYIS1000AUTOLAD1 คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 11

BrandMATSUSHITAR1566W คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 12

BrandNANYANP175RBH คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 13

BrandAUTOLAD3 คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 14

BrandTLM140MTREV1 คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 15

BrandISOLA370HR คือ ชื่อชนิดของแบรนด์ที่ใช้ในการผลิตแบบที่ 16

```
#####fit multiple linear regression#####
regressor1 = lm(formula = Scale ~ ., data = dataset )
```

Figure 7 Commands in RStudio to create Multiple Linear Regression

ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

1. การตรวจสอบการแจกแจงปกติของค่าความคลาดเคลื่อน ได้ผลลัพธ์ Figure 8 พบว่า กราฟที่ได้ไม่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง สรุปได้ว่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

2. การตรวจสอบค่าความแปรปรวนและความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อน ได้ผลลัพธ์ดัง Figure 9 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนมีการกระจายอยู่รอบค่าศูนย์แบบสุ่มละขนานไปกับแกน X แสดงว่าค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่ และค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน

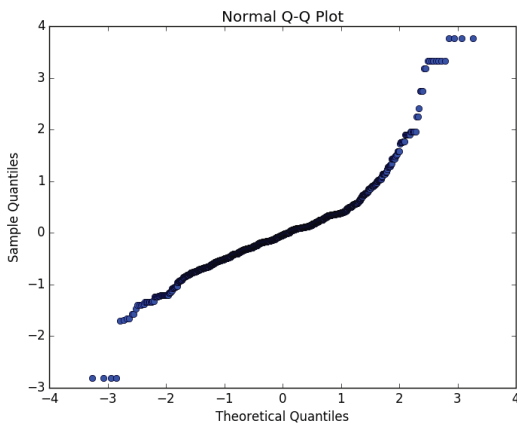


Figure 8 Normal Quantile-Quantile Plot of Regression Standardized Residual of the scale forecast of multilayer PCB board

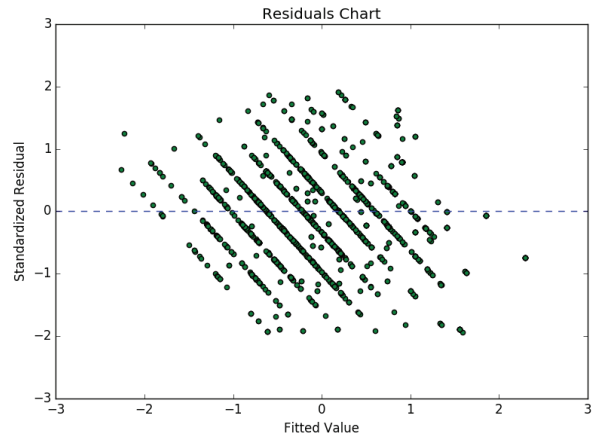


Figure 9 The relationship between the standardized residual and the predictions of scale values of multilayer PCB board

ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน (Support Vector Regression : SVR)

การหาตัวแบบพยากรณ์ Support Vector Regression ในโปรแกรม RStudio สามารถทำได้โดยใช้คำสั่ง svm() จาก Packages “e1071” โดยตั้งค่าให้ type = ‘eps-regression’ กำหนดค่าพารามิเตอร์เป็นค่าเริ่มต้น (Default) ของโปรแกรม และกำหนดให้ตัวแปรตามคือ ค่า Scale และตัวแปรต้นคือตัวแปรที่เหลือ ดัง Figure 10

```
#####Fitting the SVR Model to the dataset#####
library(e1071)
regressor2 = svm(formula = Scale ~ .,
                 data = dataset,
                 type = 'eps-regression')
```

Figure 10 Commands in RStudio to create Support Vector Regression

ตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจแบบรีเกรสชัน (Decision Tree Regression)

การหาตัวแบบพยากรณ์ Decision Tree Regression ในโปรแกรม RStudio สามารถทำได้โดยใช้คำสั่ง rpart() จาก Packages “rpart” โดยตั้งค่าให้ control = rpart.control(minsplit=1) กำหนดให้พารามิเตอร์เป็นค่าเริ่มต้น (Default) ของโปรแกรม และกำหนดให้ตัวแปรตามคือ ค่า Scale และตัวแปรต้นคือตัวแปรที่เหลือ ดัง Figure 11

```
#####Fitting the decision tree to the dataset#####
library(rpart)
regressor3 = rpart(formula = Scale ~ .,
                  data = dataset,
                  control = rpart.control(minsplit = 1))
```

Figure 11 Commands in RStudio to create Decision Tree Regression

เปรียบเทียบค่า MSE และ MAPE

จากการพยากรณ์ค่า Scale ของแผ่น PCB ชนิด Multilayer ทั้ง 3 ตัวแบบได้ผลลัพธ์ดัง Table 1

Table 1 The MSE and the MAPE values of all 3 predictive models

	MSE	MAPE (%)
Multiple Linear Regression	0.00006	23.89107
Support Vector Regression	0.00004	17.52377
Decision Tree Regression	0.00015	45.84676

วิจารณ์และสรุปผล

การดำเนินงานครั้งนี้ ผู้วิจัยทำการสร้างตัวแบบเพื่อพยากรณ์ค่า Scale ของแผ่น PCB ชนิด Multilayer โดยใช้ข้อมูลการกำหนดค่า Scale ซึ่งเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของงานแต่ละ Part Number ของบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่ง ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 รวม 17 เดือน โดยมีปัจจัยที่นำเข้าไปใช้ในการวิเคราะห์การพยากรณ์ค่า Scale มีจำนวน 10 ตัวแปร ได้แก่ Layer Count, Distance, Core Thickness, Thickness Cu Side, Cu Foil, Tg, CutDirection, Axis, Streak และ Material Brand เมื่อจัดการเตรียมข้อมูลเสร็จสมบูรณ์ได้นำไปวิเคราะห์สร้างตัวแบบโดยใช้ตัวแบบจากการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) ประเภทการถดถอยเชิงสถิติ (Statistics Regression) ในการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ได้ทำการเลือกมา 3 ตัวแบบคือ ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน (Support Vector Regression) และตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจแบบรีเกรสชัน (Decision Tree Regression) โดยใช้โปรแกรม RStudio เป็นเครื่องมือในการประมวลผลวิเคราะห์และหาตัวแบบการพยากรณ์ แล้วทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบการพยากรณ์ด้วยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เพื่อตรวจสอบว่าตัวแบบที่สร้างออกมามีความถูกต้องหรือผิดพลาดมากน้อยเพียงใด มีผลสรุปดัง Figure 12

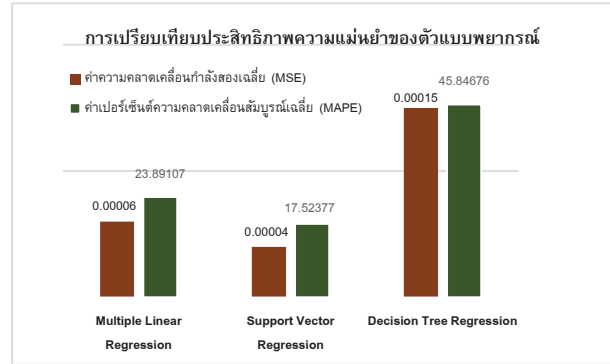


Figure 12 Comparison of efficiency and accuracy of 3 predictive models

ผลการวิจัยพบว่าจากตัวแบบการพยากรณ์ทั้ง 3 ตัวแบบนั้น ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน (Support Vector Regression) มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยมีค่า MSE = 0.00004 และค่า MAPE = 17.52377% รองลงมาคือตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ มีค่า MSE = 0.00006 และค่า MAPE = 23.89107% แต่เนื่องจากตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณไม่ผ่านสมมติฐานของความคลาดเคลื่อน คือค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจึงไม่เหมาะที่จะใช้ พยากรณ์ จึงสรุปว่าตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันเป็นตัวแบบที่เหมาะสมกับข้อมูลการพยากรณ์ค่า Scale ของแผ่น PCB ชนิด Multilayer มากที่สุด

จากนั้นผู้วิจัยได้จัดทำโปรแกรมภาษา ที่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง พร้อมสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบเอกสารคู่มือการใช้โปรแกรม RStudio เพื่อพยากรณ์ค่า Scale ของงานชนิด Multilayer สำหรับพนักงานของบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่คณะผู้วิจัยศึกษา เพื่อให้สามารถนำตัวแบบไปประยุกต์ใช้งานด้วยโปรแกรม RStudio ได้

เอกสารอ้างอิง

1. Piasak A. Machine Learning. [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://blog.derelivery.com/machine-learning-b390451983d0>
2. G-Able. Data Science ก้าวที่ล้ำหน้ากว่า Bid Data (จบ). [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.g-able.com/digital-review/digital-transformation/big-data-analytics/data-science-%E0%B8%81%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A5%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%A7%E0%B9%88%E0%B8%B2-big-data-2/>
3. Kean J. สอนคอมพิวเตอร์แบบไทยๆ ด้วย Machine Learning Model [Part 2]. [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 10 กรกฎาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://medium.com/@newnoi/%E0%B8%AA%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%84%E0%B8%AD%E0%B8%A1%E0%B8%9E%E0%B8%B9%E0%B8%94%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B9%84%E0%B8%97%E0%B8%A2%E0%B9%86-%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%A7%E0%B8%A2-machine-learning-model-part2-2a1609af1bd7>
4. Voungchuy S. Machine Learning: 01-Data Preprocessing (python coding[basic]). [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 12 กันยายน 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://medium.com/@sirawit0676/machine-learning-01-data-preprocessing-python-coding-basic-687aee03c478>
5. ธิดาเดี่ยว มยุรีสุวรรณ. การวิเคราะห์การถดถอย Regression Analysis. พิมพ์ครั้งที่ 1. ขอนแก่น: บริษัทเพ็ญพรินตติ้ง จำกัด ; 2559.
6. จารุมน หนูคง. การศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาราคายางพาราด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม สมการถดถอยแบบโพลีโนเมียล และ ซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ; 2552.
7. วีร์ชัช แก้ววิจิตร. การเพิ่มประสิทธิภาพซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันในการพยากรณ์อนุกรมเวลา. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ; 2559.
8. รณชัย ชื่นรัชช. การพยากรณ์ความต้องการใช้งานหน่วยจำหน่ายไฟฟ้าด้วยซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันแบบตรวจสอบสลับ 3 ส่วน. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2560 ; 19(1) : 217-218.
9. รัชภูมิ ใจกล้า, พันธุ์ทิพย์ นนทรีย์, อรรถชัย จินตะเวช. การทำนายผลผลิตข้าวโดยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน. ใน: รายงานการประชุมวิชาการ ศวพค. ปี 2550. เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร ; 2550. หน้า 10-15.
10. วิชญ์พงษ์ ตรุณธรรม. รู้จัก Decision Tree, Random Forest, และ XGBoost!!! - PART 1. [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 5 กันยายน 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://medium.com/@witchapongdaroontham/%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B9%89%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%81-decision-tree-random-forrest-%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0-xgboost-part-1-cb49c4ac1315>
11. พิชรารวรรณ ชินไธสง. การออกแบบและพัฒนาเทคนิคไฮบริดสำหรับการเติมค่าข้อมูลที่สูญหาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์. นครราชสีมา: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ; 2555.
12. อโณทัย ศิลเทพาเวทย์. แบบจำลองเพื่อพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เอชซีเอในโรงงานอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ; 2554.
13. ฤทธิไกร ทวีเจริญ. ตัวแบบการพยากรณ์การลาออกของพนักงานฝ่ายผลิตในธุรกิจเครื่องฉีดพลาสติกของบริษัทแห่งหนึ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานโยบายและการบริหารเทคโนโลยีสารสนเทศ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ; 2559.

การใช้มาตรฐาน มอก. 2677-2558 เพื่อยกระดับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการเคมี
พื้นฐาน: กรณีศึกษา อาคารเก็บสารเคมี คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มจพ.

Using TIS 2677-2558 for safety improvement in basic chemistry laboratory: case
study of chemical storage building, Faculty of Applied Science, KMUTNB

วราภรณ์ บุญโต¹, จิตมณี พวงปิ่น¹, โกวิท พิชะมังคลา^{2*}

Waraporn Boonto¹, Jitmanee Puangpin¹, Kowit Piyamongkala^{2*}

Received: 22 January 2020 ; Revised: 31 May 2020 ; Accepted: 22 June 2020

บทคัดย่อ

ห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (มจพ.) มีของเสียอันตรายส่วนใหญ่เกิดจากสารเคมี การจัดการของเสียอันตรายได้นำมาตรฐาน มอก. 2677-2558 มาใช้เป็นแนวทางปฏิบัติ ก่อนการดำเนินงาน มีข้อบกพร่องจำนวน 31 รายการ ที่มีความเสี่ยงในระดับสูงต่อการเกิดอุบัติเหตุ จึงได้รวบรวมข้อมูลการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ จำแนกประเภทของเสียอันตราย เคลื่อนย้ายสถานที่จัดเก็บของเสียอันตราย เปลี่ยนภาชนะบรรจุ และติดป้ายฉลากระบุประเภทของเสียอันตราย จัดทำระบบบันทึกข้อมูลของเสียอันตราย และรายงานความเคลื่อนไหวของเสียอันตรายก่อนส่งกำจัด หลังจากการแก้ไขปรับปรุง สามารถลดข้อบกพร่องเหลือ 5 รายการ อย่างไรก็ตาม ผลการปรับปรุงก่อให้เกิดความปลอดภัยต่อบุคลากรและนักศึกษา ที่ใช้งานห้องปฏิบัติการพื้นฐานเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: ของเสียอันตราย การยกระดับ ห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน

Abstract

The basic chemistry laboratories at the Department of Industrial Chemistry, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB) produce hazardous chemical wastes. Thailand Industrial Standard (TIS 2677-2558) was used as a guideline to manage hazardous wastes. It was found that, before the assessment, there were 31 items that ranked as presenting a high risk of accidents. Management was further improved the follows: by collecting data from the activities of the laboratory staff, by classifying the types of hazardous wastes, by relocating the waste storage sites, by changing the hazardous waste containers, by appropriately labeling hazardous wastes, by creating a recording system regarding information concerning the hazardous wastes, and by proper coordination of data before and after disposal. In spite of these measures, there were still 5 items that remained at high risk rating. Nevertheless, the safety of the laboratory for personnel and students were increased significantly.

Keywords: Hazardous Waste, Improvement, Basic Chemistry Laboratory

¹ นักศึกษา, คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

² อาจารย์, คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

¹ Student, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

² Instructure, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

* Corresponding author: kowit.p@sci.kmutnb.ac.th

บทนำ

ของเสียอันตราย (Hazardous Waste) ภายในห้องปฏิบัติการ ส่วนใหญ่เกิดจากการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่าง¹ ประกอบไปด้วยสารที่มีอันตรายต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม โดยของเสียอันตรายภายในห้องปฏิบัติการ สามารถจำแนกได้ดังนี้ หนึ่งในของเสียที่ไม่เป็นอันตราย หมายถึงของเสียที่ไม่เป็นพิษ สารเคมีหรือสารอันตราย เช่นขวดน้ำพลาสติก กระดาษทิชชูที่ไม่สัมผัสสารเคมี กระดาษเอกสาร หรือกระดาษลัง และสองของเสียที่เป็นอันตราย หมายถึงของเสียในสถานะของแข็ง หรือกึ่งของแข็ง หรือของเหลว หรือก๊าซ ที่มีลักษณะสมบัติหรือปนเปื้อนกับวัตถุอันตราย แล้วปรากฏลักษณะสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือมากกว่าหนึ่งดังต่อไปนี้ เป็นวัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุออกซิไดซ์ และวัตถุเพอร์ออกไซด์ วัตถุกัดกร่อน วัตถุทำให้เกิดโรค วัตถุที่มีพิษร้ายแรง ได้แก่ สารก่อมะเร็ง วัตถุก่อให้เกิดอาการระคายเคือง อาการภูมิแพ้ การกลายพันธุ์ และก่อให้เกิดความบกพร่องการพัฒนาการของทารกในครรภ์ เป็นต้น² หากไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสม อาจเกิดความเสี่ยงอันตรายต่อบุคลากรภายในห้องปฏิบัติการ รวมไปถึงผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มีระบบการจัดการของเสียอันตราย โดยการจำแนกประเภทของเสียอันตรายออกเป็นประเภทต่างๆ แต่ยังคงขาดระบบการจัดการที่ดี ทั้งในเรื่องของข้อมูลในการจัดการ การจดบันทึก สถานที่ในการจัดเก็บ มาตรการในการปฏิบัติ รวมไปถึงความรู้ความเข้าใจและพฤติกรรมของบุคลากรภายในภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม ที่ยังไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ พรเพ็ญ กำนารายณ์ ที่ได้ทำการสำรวจเพื่อชี้บ่งอันตรายและวิเคราะห์ความเสี่ยงในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การแพทย์ ยังคงต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงให้เกิดความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น³

ดังนั้นภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม จึงให้ความสำคัญในการจัดการของเสียอันตราย โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของบุคลากร และนักศึกษาในห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน รวมไปถึงในด้านสิ่งแวดล้อม จึงใช้มาตรฐาน มอก. 2677-2558^{4, 5} เป็นแนวทางในการจัดการของเสียอันตรายในห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน เริ่มจากการรวบรวมข้อมูล เกี่ยวกับการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ ที่ดูแลห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน การจำแนกประเภทของเสียอันตราย การรายงานข้อมูลของเสียอันตราย สถานที่จัดเก็บ ภาชนะบรรจุของเสียอันตรายและป้ายฉลากระบุประเภทของเสียอันตราย ผลการสำรวจพบว่าภายในห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน มีข้อที่ต้องปรับปรุงเกี่ยวกับ การจำแนก

ประเภทของเสียอันตรายไม่ชัดเจน สถานที่จัดเก็บของเสียอันตรายมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ รวมไปถึงภาชนะในการจัดเก็บมีสภาพชำรุด และป้ายระบุประเภทของเสียอันตรายไม่ตรงตามมาตรฐาน มอก. 2677-2558 ดังนั้นจึงดำเนินการจัดการของเสียอันตรายภายในห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน โดยจัดเตรียมสถานที่จัดเก็บของเสียอันตรายที่เหมาะสม ทำให้ไม่เกิดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ มีเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของเสียอันตรายที่ชัดเจนขึ้น โดยคำนึงถึงความเข้ากันไม่ได้ของของเสียอันตราย เปลี่ยนภาชนะจัดเก็บของเสียอันตรายจากของเดิม จัดทำระบบบันทึกข้อมูลของเสียอันตราย มีการรายงานความเคลื่อนไหวข้อมูลของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นก่อนส่งกำจัด และชี้บ่งอันตรายหลังการแก้ไข โดยวิธีการสำรวจใช้ เทคนิค Checklist จากผลการดำเนินงานทำให้ลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุภายในห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน เกิดความปลอดภัยของบุคลากรและนักศึกษาภายในห้องปฏิบัติการ รวมไปถึงการลดปริมาณของเสียอันตรายที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบบริหารจัดการของเสียอันตรายให้มีประสิทธิภาพ และเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 2677-2558 นำมาซึ่งความปลอดภัยต่อบุคลากร นักศึกษา ชุมชนและสิ่งแวดล้อมโดยรอบอาคารเก็บสารเคมี ตลอดจนทรัพย์สินภายในห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน

วิธีการวิจัย

การจัดการของเสียอันตรายภายในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน

การสำรวจพื้นที่ และรวบรวมข้อมูลสถานภาพปัจจุบัน

เป็นการสำรวจพื้นที่อาคารเก็บสารเคมี ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และรวบรวมข้อมูลสถานภาพภายหลังการปรับแก้ไขข้อบกพร่อง โดยใช้มาตรฐาน มอก. 2677-2558 เล่มที่ 1 และเล่มที่ 2 เป็นแนวทางในการปฏิบัติ

การชี้บ่งอันตราย

เป็นการศึกษา วิเคราะห์ ทบทวนการดำเนินงานทั้งหมด ภายหลังจากปรับ แก้ไขข้อบกพร่อง จากนั้นรวบรวมจัดทำบัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย ใช้การชี้บ่งอันตรายจากแบบตรวจสอบ ESPReL Checklist จากนั้นนำผลการตรวจสอบจาก ESPReL Checklist มาชี้บ่งอันตรายเพื่อหาแนวโน้มของอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากพื้นที่

การวิเคราะห์อันตราย

เป็นการวิเคราะห์อันตรายของการจัดการของเสียอันตราย ภายในอาคารเก็บสารเคมีภายหลังการปรับ แก้ไขข้อบกพร่อง โดยการสังเกตลักษณะทางกายภาพ ของการจัดการของเสียอันตราย

การประเมินความเสี่ยง

พิจารณาถึงโอกาสและความรุนแรงของอันตราย ได้มีการชี้บ่งอันตรายออกมา ซึ่งอาจก่อให้เกิดเพลิงไหม้ การระเบิด การรั่วไหลของของเสียอันตราย ภายหลังการปรับ แก้ไขข้อบกพร่อง

การหาแนวทางแก้ไขและป้องกันความเสี่ยง

เป็นการหาแนวทางป้องกันหรือหาแนวทางใหม่ เพื่อลดระดับความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดอุบัติเหตุจากของเสียอันตราย

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการปฏิบัติและแก้ไขการจัดการของเสียอันตรายในห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน

ระบบบันทึกข้อมูลของเสียอันตราย มีการสร้างระบบบันทึกข้อมูลของเสียอันตราย โดยใช้โปรแกรม Microsoft Access เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจัดการระบบฐานข้อมูล (Database Management System) มาใช้ในการบันทึกข้อมูลของเสียอันตราย ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ มีการรายงานข้อมูลของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน เพื่อรายงานความเคลื่อนไหว สามารถรู้ปริมาณและที่มาของเสียอันตรายที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน และสามารถใช้ประโยชน์จากระบบบันทึกข้อมูลของเสียอันตราย เพื่อการประเมินความเสี่ยง และการจัดเตรียมงบประมาณในการกำจัด โครงสร้างของข้อมูลของเสียอันตรายที่บันทึกประกอบด้วย วันที่บันทึกข้อมูล (Input Date) ผู้รับผิดชอบ อาคารที่เก็บของเสียอันตราย (Storage Building) ห้องที่เก็บของเสียอันตราย (Storage Room) รหัสของภาชนะบรรจุ (Bottle ID) ประเภทของเสียอันตราย และปริมาณของเสียอันตราย (Waste Volume/Weight) โดยวิธีการใช้ระบบบันทึกข้อมูลของเสียอันตราย ดังแสดงใน Figure 1

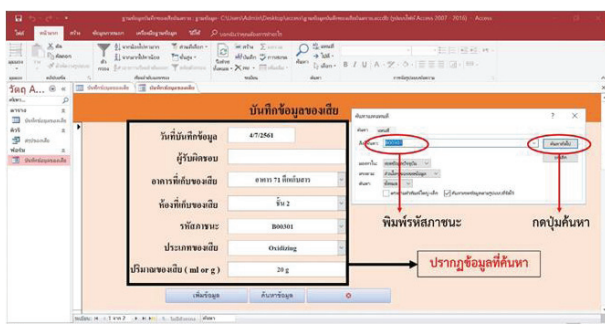


Figure 1 Program Microsoft Access for record hazardous waste

การเก็บของเสียอันตราย

การเก็บของเสียอันตรายมีการปรับปรุงแก้ไข แนวทางปฏิบัติในขั้นตอนการเก็บของเสียอันตราย เพื่อการส่งกำจัด โดยคำนึงถึงความเหมาะสม ลักษณะทางกายภาพของสถานที่ และความปลอดภัยของบุคลากรและนักศึกษา ที่เกี่ยวข้องภายในห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน มีการแก้ไข ดังนี้

1. แยกประเภทของเสียอันตราย จากเดิมห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน มีการแยกประเภทของเสียอันตรายตามปฏิบัติการทดลองเคมีพื้นฐาน ทำให้มีภาชนะบรรจุของเสียอันตรายเป็นจำนวนมากเกินไปในแต่ละชั้น มีมาตรฐานรับภาชนะบรรจุของเสียไม่เพียงพอ ของเสียอันตรายแต่ละประเภทถูกวางรวมกัน และถูกวางกระจายทั่วห้อง ไม่มีสถานที่จัดเก็บที่แน่นอน หากเกิดเหตุการณ์ภาชนะบรรจุของเสียอันตรายแตกหรือชำรุด อาจทำให้ของเสียอันตรายที่มีสมบัติความเข้ากันไม่ได้บางประเภทผสมรวมกัน เป็นผลทำให้เกิดความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุร้ายแรงภายในห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน เมื่อพิจารณาจากปัญหา จึงได้มีการแยกประเภทของเสียอันตรายภายในห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน เป็นของแข็ง ได้แก่ตะกอนแบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$) และเศษแก้วแตก และของเหลว ได้แก่ สารละลายกรด สารละลายเบส สารละลายโลหะหนัก และน้ำมันปิโตรเลียม โดยคำนึงถึงสมบัติความเข้ากันไม่ได้ของสารเคมี ของเสียอันตรายบางปฏิบัติการทดลอง เป็นของเสียอันตรายประเภทเดียวกัน สามารถจัดเก็บรวมกันได้ ดังแสดงใน Figure 2



Figure 2 Bottom for keep hazardous waste from experiment

2. แยกประเภทขยะที่ปนเปื้อนสารเคมี และขยะที่ไม่ปนเปื้อนสารเคมี มีการระบุชัดเจนว่าควรทิ้งลงถังประเภทใด ขยะที่ไม่ปนเปื้อนสารเคมี (ถุงขนม กล่องข้าว กระดาษที่ไม่ปนเปื้อนสารเคมี) และขยะรีไซเคิล สำหรับทั้งขยะรีไซเคิล (ขวดน้ำเปล่า) ระบุให้เป็นขยะทั่วไป ดังแสดงใน Figure 3 (a) ในขณะที่ขยะปนเปื้อนสารเคมี ระบุให้เป็นขยะอันตรายสำหรับทั้งขยะที่ปนเปื้อนสารเคมี (ทิชชู ถุงมือ กระดาษกรอง อื่นๆ) ดังแสดงใน Figure 3 (b)



Figure 3 Bin of solid waste (a) plastic and general solid waste and (b) hazardous waste

3. ปรับเปลี่ยนภาชนะบรรจุของเสียอันตราย เนื่องจากภาชนะบรรจุของเสียอันตรายเดิม เป็นขวดแก้วสีชา บรรจุสารเคมีที่ใช้หมดแล้ว มีน้ำหนักมาก ทำให้เคลื่อนย้ายไม่สะดวก หยิบจับไม่ถนัดมือ เสี่ยงต่อการตกหล่นและแตกได้ง่าย นอกจากนี้การมองปริมาณของเสียอันตรายที่บรรจุอยู่ภายใน เห็นได้ไม่ชัดเจน เนื่องจากเป็นภาชนะโปร่งแสง สีน้ำตาล จึงเปลี่ยนมาใช้ถังแกลลอนที่เป็นพลาสติกประเภท Polypropylene (PP) ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีของปฏิบัติการทดลองเคมีพื้นฐาน มีน้ำหนักเบา ทำให้เคลื่อนย้ายได้สะดวก หยิบจับได้ถนัดมือ ลดความเสี่ยงในการตกหล่นแตกง่าย และมองเห็นปริมาณของเสียอันตรายชัดเจน โดยมีภาชนะบรรจุของเสียอันตราย เพียงพอและแยกตามประเภทของของเสียอันตรายชัดเจน ดังแสดงใน Figure 2

4. ติดฉลากภาชนะบรรจุของเสียอันตราย โดยมีรายละเอียดแต่ละหัวข้อ ได้แก่ข้อความระบุอย่างชัดเจนว่าเป็นของเสียอันตราย ชื่อห้องปฏิบัติการ/ชื่อเจ้าของ/ผู้รับผิดชอบ ประเภทของเสียอันตราย สัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตราย ดังแสดงใน Table 1 ส่วนประกอบของเสียอันตราย ปริมาณของเสียอันตราย วันที่เริ่มบรรจุของเสียอันตราย วันที่หยุดการบรรจุของเสียอันตราย และระบุที่หมายเหตุแต่ละปฏิบัติการจะต้องทิ้งลงในภาชนะบรรจุของเสียอันตรายประเภทไหน รูปแบบของฉลากภาชนะบรรจุของเสียอันตราย ดังแสดงใน Figure 4

Table 1 Symbol of hazardous waste in basic chemistry laboratory

ประเภทของเสียอันตราย	สัญลักษณ์ความเป็นอันตราย	ความหมายสัญลักษณ์
โลหะหนัก		เป็นพิษ (Toxic)
		เป็นพิษต่อสุขภาพ (Health toxicity)
		เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Environment toxicity)
กรด		กัดกร่อนโลหะ และผิวหนัง (Corrosive to metals and skin)
		กัดกร่อนโลหะ และผิวหนัง (Corrosive to metals and skin)
ตะกอนแบเรียมซัลเฟต (BaSO ₄)		เป็นพิษเฉียบพลัน ระคายเคือง (Acute toxicity, irritation)

ฉลากของเสียอันตราย

ประเภทของเสีย **กรด**

ชื่อห้องปฏิบัติการ **ชั้น 3**

สถานที่ **อาคารเก็บสารเคมี**

เบอร์โทรศัพท์

ผู้รับผิดชอบ/เบอร์โทร

ส่วนประกอบของของเสีย

.....

.....

รหัสฉลาก/รหัสสาระ

A00301

ปริมาณของเสีย

วันที่เริ่มบรรจุของเสีย

วันที่หยุดบรรจุของเสีย

หมายเหตุ***

- การหาค่าคงที่ของก๊าซอุดมคติ
- การแยกและวิเคราะห์แคตไอออนบางชนิด
- ค่าคงที่ผลคูณการละลายและความสามารถในการละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

Figure 4 Label at bottom of hazardous waste

5. การกำหนดรหัสภาชนะบรรจุของเสีย มีการกำหนดภาชนะบรรจุของเสียอันตรายสำหรับห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน เพื่อสะดวกในการค้นหา ไม่เกิดความสับสน และปะปนกันของภาชนะบรรจุของเสียอันตรายในแต่ละชั้น ซึ่งการกำหนดรหัสภาชนะบอกลงถึง 3 องค์ประกอบดังนี้ องค์ประกอบที่หนึ่งบ่งบอกถึงประเภทของของเสียอันตราย แสดงในรูปแบบของตัวอักษรภาษาอังกฤษ A หมายถึง Acid (กรด) B หมายถึง Base (เบส) HV หมายถึง Heavy Metal (โลหะหนัก) HC หมายถึง Hydrocarbon (น้ำมันปิโตรเลียม) และ S หมายถึง Solid (ตะกอน) องค์ประกอบที่สองบ่งบอกถึงสถานที่ห้องปฏิบัติการ แสดงในรูปแบบของตัวเลข (ในกรณีของอาคารเก็บสารเคมีจะระบุเป็นชั้น 1, 2, ..., 5 โดยนำหน้าด้วย 00 จากนั้นตามด้วยเลขชั้น) และองค์ประกอบที่สามบ่งบอกถึงเลขที่ขวดของแต่ละชั้นแต่ละประเภทแสดงในรูปแบบของตัวเลข ตัวอย่างการกำหนดรหัสภาชนะ แสดงใน Figure 5

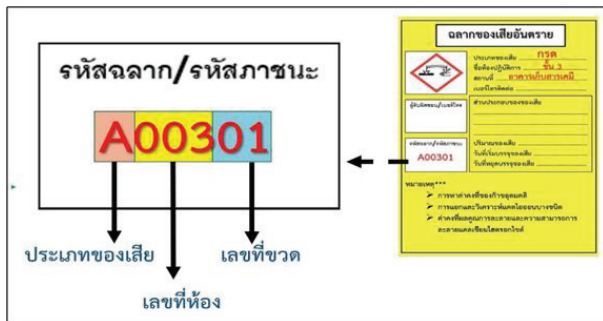


Figure 5 Specific code bottom of hazardous waste

6. การกำหนดพื้นที่และบริเวณที่ใช้จัดเก็บของเสียอันตราย เมื่อแยกประเภทของเสียอันตราย และทราบจำนวนภาชนะบรรจุของเสียอันตรายแล้ว จึงกำหนดพื้นที่และบริเวณที่ใช้จัดเก็บของเสียอันตรายอย่างชัดเจน โดยการจัดวางภาชนะบรรจุของเสียอันตราย ไว้ในบริเวณที่ห่างจากความร้อน แหล่งกำเนิดไฟ เปลวไฟ ท่อระบายน้ำ ใต้ถ้ำน้ำ และ ไม่ปิดกั้นหรือกีดขวางบริเวณทางเดินและทางเข้า - ออก ของห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน โดยมีรายละเอียดแต่ละชั้นดังนี้

ชั้นที่ 1 จัดถึงขยะทั่วไปบริเวณข้างบันได เนื่องจากไม่มีปฏิบัติการทดลองที่ต้องใช้สารเคมีในชั้นนี้ ทำให้ไม่มีของเสียอันตรายจึงมีเพียงถังขยะทั่วไป

ชั้นที่ 2 จัดวางภาชนะบรรจุของเสียอันตรายขนาด 5 ลิตร จำนวน 2 ใบ ประเภทน้ำมันปิโตรเลียมโดยมีถาดรองรับภาชนะบรรจุของเสียอันตรายบริเวณใต้ปฏิบัติการสำหรับทิ้งของเสียอันตรายจากการทดลองปฏิบัติการเคมีอุตสาหกรรม จัดวางถึงขยะอันตรายไว้บริเวณข้างตู้ดูดไอสารเคมี และจัดวางถึงขยะทั่วไปและถึงขยะรีไซเคิล ไว้บริเวณหน้าตู้ส่งงานอย่างละ 1 ใบ ดังแสดงใน Figure 6

ชั้นที่ 3 จัดวางภาชนะบรรจุของเสียอันตรายขนาด 5 ลิตร จำนวน 12 ใบ สำหรับทิ้งของเสียอันตรายประเภท กรด เบส และโลหะหนัก วางไว้บริเวณด้านหลังห้องปฏิบัติการ จัดวางถึงขยะอันตรายจำนวน 3 ใบ ไว้บริเวณรอบห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน เพื่อความสะดวกในการทิ้งสำหรับนักศึกษา และวางถึงสำหรับเศษแก้วแตกจำนวน 1 ใบ ไว้บริเวณริมทางเดินหน้าห้องน้ำชาย ดังแสดงใน Figure 7



Figure 6 Bottom and bin at second floor (a) Petroleum waste (b) hazardous waste and (c) recycle and solid waste

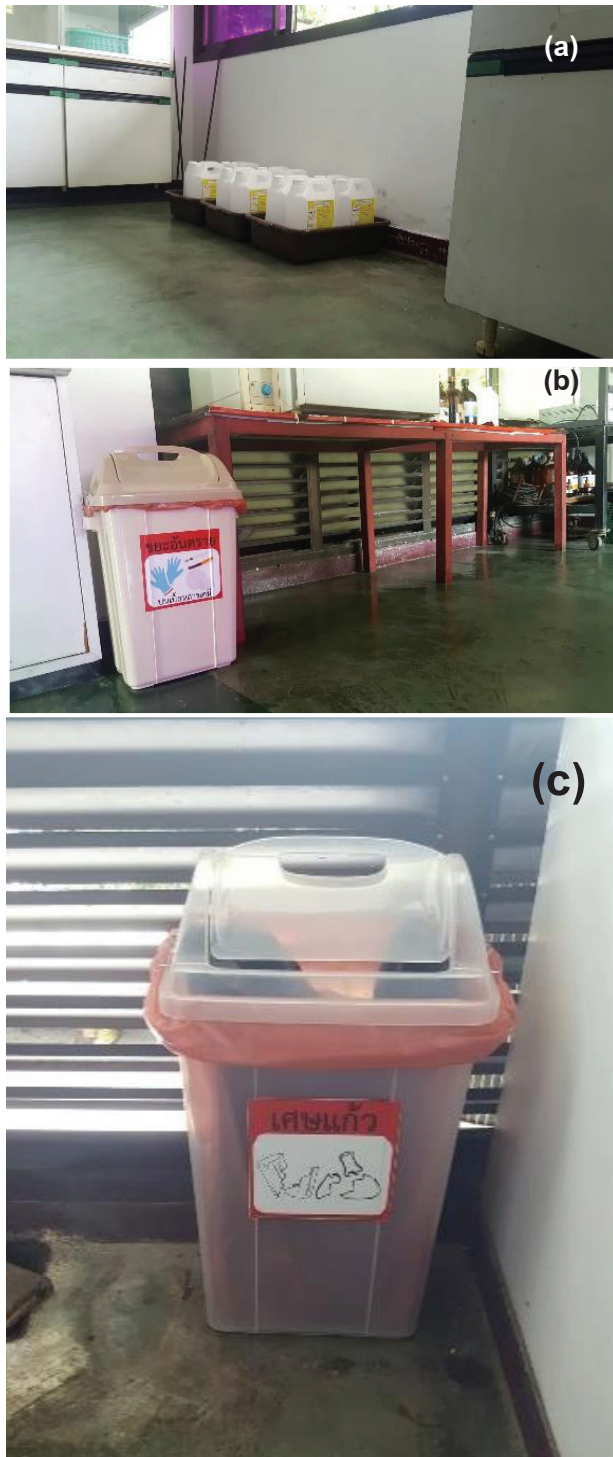


Figure 7 Bottom and bin at third floor (a) acid-base (b) hazardous waste and (c) broken glasses

ชั้นที่ 4 จัดวางภาชนะบรรจุของเสียอันตรายขนาด 5 ลิตร จำนวน 12 ใบ สำหรับทิ้งของเสียอันตรายประเภท กรด เบส และโลหะหนัก วางไว้บริเวณด้านหลังของห้องปฏิบัติการ เคมีพื้นฐาน จัดวางถังขยะอันตรายจำนวน 3 ใบ ไว้บริเวณรอบ ห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน เพื่อความสะดวกในการทิ้งสำหรับ นักศึกษา และวางถังสำหรับเศษแก้วแตกจำนวน 1 ใบ ไว้ บริเวณริมทางเดินหน้าห้องน้ำชาย ดังแสดงใน Figure 8

ชั้นที่ 5 จัดวางถังขยะทั่วไปบริเวณหน้าห้องบรรยาย เนื่องจากไม่มีปฏิบัติการทดลองที่ต้องใช้สารเคมีในชั้นนี้ ทำให้ ไม่มีของเสียอันตราย จึงมีเพียงถังขยะทั่วไปจำนวน 1 ใบ และ จัดวางชั้นสำหรับวางขวดสารเคมีเก่าบริเวณหน้าห้องบรรยาย

โดยผลจากการนำมาตราฐาน มอก. 2677-2558 เข้า มาดำเนินงานปรับปรุงห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน ในชั้นที่ 2, 3 และ 4 พบว่าก่อนการดำเนินงานมีภาชนะบรรจุของเสีย อันตรายจำนวน 36, 19 และ 29 ใบ ตามลำดับ ภายหลังจาก การดำเนินงานปรับปรุง สามารถลดจำนวนภาชนะบรรจุของ เสียอันตรายเหลือ 3, 16 และ 16 ใบ ตามลำดับ คิดเป็นจำนวน ขวดบรรจุของเสียอันตรายที่ลดลงเท่ากับร้อยละ 91.7, 15.8 และ 44.8 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกัน ก่อนดำเนินการปรับปรุง ใช้พื้นที่จัดเก็บของเสียอันตราย 2.7, 1.7 และ 2.5 ตารางเมตร ตามลำดับ ภายหลังจากปรับปรุง พื้นที่จัดเก็บของเสียอันตราย ลดลงเหลืออยู่ 0.6, 1.0 และ 1.0 ตารางเมตร ตามลำดับ โดย พื้นที่การจัดเก็บของเสียอันตรายลดลงร้อยละ 77.8, 41.2 และ 60.0 ตารางเมตร ตามลำดับ

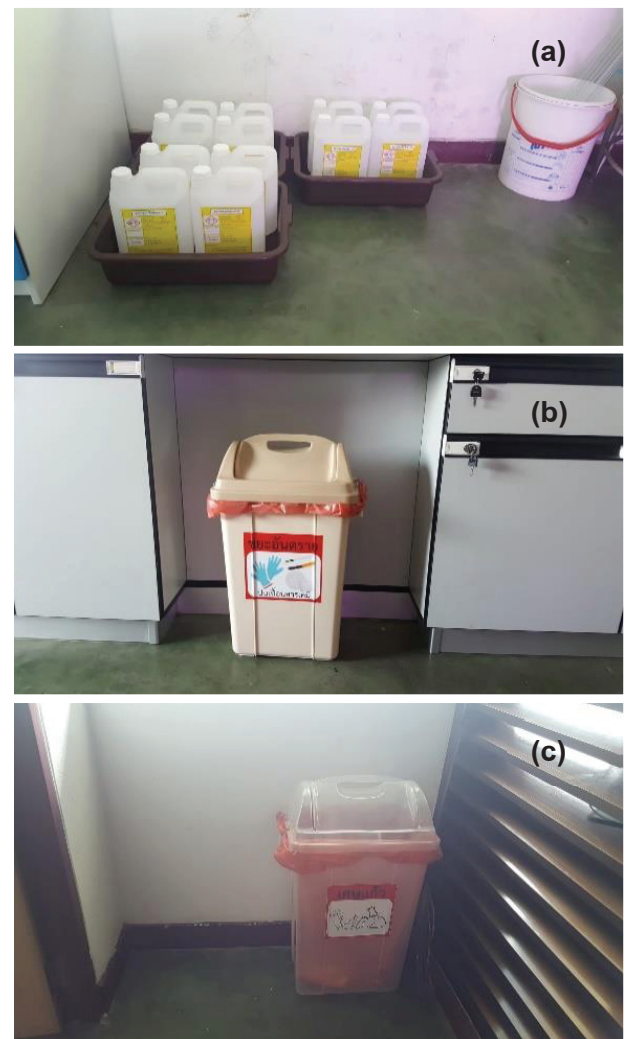


Figure 8 Bottom and bin at fourth floor (a) acid-base (b) hazardous waste and (c) broken glasses

ตรวจสอบความบกพร่องของภาษาและฉลากของเสียอันตราย

จากเดิมไม่มีการตรวจสอบความบกพร่องของภาษาและฉลากบรรจุของเสียอันตราย พบว่าภาษาและฉลากของเสียอันตรายบางส่วนมีสภาพชำรุด ฝาปิดเก่า ป้ายฉลากเลื่อนราง เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ จึงจัดทำแบบฟอร์มตารางบันทึกการตรวจสอบภาษาและฉลากของเสียอันตราย โครงสร้างแบบฟอร์มที่ตรวจสอบประกอบด้วย สภาพภาษาบรรจุของเสียอันตราย ฝาปิดภาษาบรรจุของเสียอันตราย ป้ายฉลากภาษาบรรจุของเสียอันตราย และภาตรองรับภาษาบรรจุของเสียอันตราย เป็นตัวช่วยในการตรวจสอบ สภาพปัจจุบันของภาษาและฉลากของเสียอันตราย ตรวจสอบง่าย สะดวก และไม่ยุ่งยาก เพื่อนำไปสู่การแก้ไขได้ทันที โดยกำหนดให้เจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ประจำอาคารเก็บสารเคมี ตรวจสอบทุกๆ 1 เดือน หากภาษาและฉลากของเสียอันตรายบางส่วนมีสภาพชำรุด ให้เขียนไว้ในช่องหมายเหตุ และดำเนินการแก้ไขทันที วิธีนี้ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ อันเนื่องมาจากการชำรุดของสภาพภาษาและฉลากบรรจุของเสียอันตราย

การดำเนินงานดังกล่าวใช้เวลาในการเตรียมสถานที่ 90 วัน ใช้งบประมาณในการปรับปรุงทั้งหมดเป็นเงิน 10,000 บาท ซึ่งประกอบด้วย การจัดหาภาษาบรรจุของเสียอันตรายเป็นเงิน 7,000 บาท การจัดทำฉลากติดภาษาบรรจุของเสียอันตรายอีก 2,000 บาท และค่าจ้างในการขนย้ายโต๊ะไม้ตู้เหล็ก ตลอดจนท่ออีกเป็นเงิน 1,000 บาท

การนำเสนองาน

ทำโดยการให้ความรู้ ความเข้าใจ ในการปรับปรุงแก้ไข ระบบการจัดการของเสียอันตราย แก่เจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ของภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม และรับฟังข้อชี้แนะของเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไข การจัดการระบบให้เหมาะสม และสอดคล้องในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐาน

การชี้บ่งอันตรายและการวิเคราะห์อันตราย

ผลการตรวจสอบระบบการจัดการของเสียอันตรายภายหลังการจัดการด้วยวิธี Checklist เมื่อดำเนินการปฏิบัติและแก้ไขการจัดการของเสียอันตรายในห้องปฏิบัติการเคมีพื้นฐานแล้ว ได้มีการตรวจสอบด้วยวิธี ESPReL Checklist อีกครั้งพบว่า ก่อนการจัดการระบบการจัดการของเสียอันตราย มีข้อมูลที่ใช่ ไม่ใช่ ไม่เกี่ยวข้อง และไม่ทราบ/ไม่มีข้อมูลจำนวน 8, 26, 2 และ 3 รายการ ตามลำดับ และหลังการจัดการระบบการจัดการของเสียอันตรายมีข้อมูลที่ใช่ ไม่ใช่ ไม่เกี่ยวข้อง และไม่ทราบ/ไม่มีข้อมูล จำนวน 34, 2, 2 และ 1 รายการ ตามลำดับ

จากผลการตรวจสอบด้วยวิธี ESPReL Checklist ก่อนและหลังการจัดการระบบการจัดการของเสียอันตราย พบว่าข้อมูลที่ “ใช่” เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 20.5 เป็นร้อยละ 87.2 ข้อมูลที่ “ไม่ใช่” ลดลงจากเดิมร้อยละ 66.7 เหลืออยู่ร้อยละ 5.1 แสดงว่าเมื่อมีการปฏิบัติและแก้ไข สามารถจัดการระบบการจัดการของเสียอันตรายให้ตรงตามมาตรฐาน มอก. 2677-2558 และมีเพียงร้อยละ 5.1 ที่ยังไม่สามารถแก้ไขได้ เนื่องจากยังมีการเก็บของเสียอันตรายประเภทน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งเป็นของเสียอันตรายไวไฟในห้องปฏิบัติการเกิน 38 ลิตร ต้องรอการกำจัดหรือนำไปใช้งานซ้ำ หรือใช้ประโยชน์ในด้านอื่นต่อได้ จากผลการตรวจสอบช่วยมองเห็นภาพรวมของการปฏิบัติและแก้ไขการจัดการของเสียอันตราย นำไปสู่การลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ ต่อทั้งนักศึกษา เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน และบุคคลที่เกี่ยวข้องได้เป็นอย่างดี

การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงภายหลังการจัดการระบบจัดการของเสียอันตราย ได้ทำการแก้ไขและปรับระบบการจัดการของเสียอันตรายตาม มอก. 2677 - 2558 มีการประเมินความเสี่ยงอีกครั้ง เพื่อพิจารณาว่าผลที่ได้แก้ไขและปรับปรุงระบบการจัดการของเสียอันตราย สามารถช่วยลดความเสี่ยงได้หรือไม่ จากผลการประเมินความเสี่ยง พบว่าเมื่อมีการบันทึกข้อมูลของเสียอันตรายในรูปแบบเอกสารหรืออิเล็กทรอนิกส์ รายละเอียดการประเมินความเสี่ยงดังแสดงใน Table 2 นอกจากนั้น มีโครงสร้างเบื้องต้นข้อมูลของเสียอันตรายที่บันทึก มีการแยกประเภทของเสียอันตรายอย่างชัดเจน ใช้ภาษาบรรจุของเสียอันตรายที่ลดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ ป้ายฉลากติดภาษาบรรจุของเสียอันตรายระบุข้อมูลเบื้องต้นครบถ้วนชัดเจน มีการตรวจสอบความบกพร่องของภาษาบรรจุและฉลากของเสียอันตรายอย่างสม่ำเสมอ มีภาตรองรับภาษาบรรจุของเสียอันตรายเพียงพอและไม่เสื่อมสภาพ มีพื้นที่ในการเก็บของเสียอันตรายแน่นอนไม่วางภาษาบรรจุของเสียอันตรายภายในห้องน้ำ และไม่วางภาษาบรรจุของเสียอันตรายใกล้แหล่งความร้อน แหล่งกำเนิดไฟ เปลวไฟ พบว่าความเสี่ยงลดลงอยู่ในระดับ 1 คือความเสี่ยงเล็กน้อย ทำให้มีโอกาสน้อยมากที่จะเกิดความเสี่ยงรุนแรง และในส่วนของ การเก็บของเสียอันตรายประเภทไวไฟในห้องปฏิบัติการเกิน 38 ลิตร และไม่จัดเก็บไว้ในตู้สำหรับเก็บสารไวไฟโดยเฉพาะ ยังไม่สามารถส่งกำจัดได้ เนื่องจากต้องมีการกำจัดในรอบถัดไป ความเสี่ยงจึงยังคงอยู่ในระดับ 2 ต้องมีการดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยง โดยผลการประเมินความเสี่ยงในหัวข้อที่ 1-11 ได้มีการรวบรวมและแสดงใน Table 3

Table 2 Rating to record of hazardous waste in paper and file within basic chemistry laboratory

หัวข้อ	ผลหรืออันตรายที่จะเกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกันและควบคุม	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
1. มีการบันทึกข้อมูลของเสียอันตรายในรูปแบบ	ผลต่อบุคคล	- ควรบันทึกข้อมูลของเสียอันตรายทุกครั้ง	- สามารถนำระบบบันทึกข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นได้ในอนาคต	2	1	2	1
1.1 เอกสาร	- ระบุปริมาณของเสียอันตรายที่อยู่ในห้องปฏิบัติการ ทำให้สามารถประเมินปริมาณของเสียได้ สามารถวางแผนจัดการได้สะดวก ช่วยลดความเสี่ยงได้	เมื่อมีการทิ้งสารรวมถึงรวมใหญ่					
1.2 อิเล็กทรอนิกส์	ผลต่อทรัพย์สิน						
	- สามารถประเมินราคาในการส่งกำจัดในแต่ละปีได้ง่ายขึ้น			2	1	2	1

Table 3 Management for risk assessment of hazardous waste within basic chemistry laboratory

หัวข้อที่บกพร่อง	ผลที่เกิดขึ้น	ระดับความเสี่ยง
1. มีการบันทึกข้อมูล ในรูปแบบของเอกสารและอิเล็กทรอนิกส์	ทราบปริมาณของเสียอันตรายในห้องปฏิบัติการ สามารถประเมินปริมาณและจัดการของเสียอันตรายได้สะดวก	1
2. มีโครงสร้างของข้อมูลของเสียอันตรายที่บันทึกซึ่งประกอบด้วย ผู้รับผิดชอบ รหัสภาชนะบรรจุ ประเภทและปริมาณของเสียอันตราย วันที่บันทึกข้อมูล ห้องและสถานที่จัดเก็บของเสียอันตราย	ผู้ปฏิบัติงานทำงานได้สะดวกขึ้น ประเมินการส่งกำจัดในแต่ละปีได้ง่าย	1
3. มีการแยกประเภทของเสียอันตรายอย่างชัดเจน	นักศึกษา และเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน ทั้งของเสียอันตรายตามประเภทที่แยกไว้ชัดเจน ลดความเสี่ยงในการทิ้งของเสียอันตรายผิด ทำให้ไม่เกิดความเสียหายภายในอาคาร	1
4. เปลี่ยนภาชนะบรรจุของเสียอันตรายที่มีความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุ	ภาชนะมีน้ำหนักเบา หีบจับได้สะดวก มีหูจับขนย้ายได้ง่าย ตกกระทบพื้นแตกหักยาก	1
5. บ้ายฉลากติดภาชนะบรรจุของเสียอันตรายระบุข้อมูลเบื้องต้นครบถ้วนและชัดเจน	ระบุชัดเจนว่าเป็นของเสียอันตราย หากไม่ใช่ผู้ปฏิบัติงานอยู่ในส่วนนั้น ก็สามารถเข้าใจได้ง่าย ลดการเกิดอุบัติเหตุและความเสียหายภายในอาคารได้	1
6. มีการตรวจสอบความบกพร่องของภาชนะ และฉลากของเสียอันตรายอย่างสม่ำเสมอ	ทราบว่าภาชนะชำรุด มีความระมัดระวังมากขึ้น และแก้ไขได้รวดเร็ว ลดการเกิดอุบัติเหตุที่รุนแรงและความเสียหายภายในอาคารได้	1
7. ถาดรองรับภาชนะบรรจุของเสียอันตราย มีเพียงพอและสภาพพร้อมใช้งาน	มีถาดรองรับของเสียอันตรายทุกใบ หากรั่วไหลไม่หกโดนร่างกายนักศึกษา หรือผู้ปฏิบัติงานบริเวณนั้น และไม่รั่วไหลไปเกิดปฏิกิริยากับของเสียอันตรายประเภทอื่น ลดการเกิดอุบัติเหตุ	1
8. มีพื้นที่หรือบริเวณสำหรับจัดเก็บของเสียอันตรายที่แน่นอน	ลดความสับสนในการทำงานของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน ทำงานได้เป็นระบบ มีความเสี่ยงลดลงหากมีสารที่เข้ากันไม่ได้รั่วไหลปนกันของเสียอันตรายถูกกำจัดตามรอบที่กำหนด ลดงบประมาณในการส่งกำจัดได้	1
9. ไม่วางภาชนะบรรจุของเสียอันตรายภายในห้องน้ำ	ไม่มีความเสี่ยงจากพื้นห้องน้ำชำรุดเสียหาย	1
10. วางภาชนะบรรจุของเสียอันตราย ให้ห่างจากแหล่งความร้อน แหล่งกำเนิดไฟและเปลวไฟ	ลดความเสี่ยงในการเกิดเพลิงไหม้ที่ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและอาคารสถานที่	1

Table 3 Management for risk assessment of hazardous waste within basic chemistry laboratory (Cont.)

หัวข้อที่บกพร่อง	ผลที่เกิดขึ้น	ระดับความเสี่ยง
11. เก็บของเสียอันตรายไวไฟในห้องปฏิบัติการเกินกว่า 38 ลิตร และไม่ได้จัดเก็บไว้ในตู้สำหรับเก็บสารไวไฟโดยเฉพาะ	นักศึกษา และเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุไฟไหม้รุนแรง ในกรณีประกายไฟลุกลามไปสัมผัสกับของเสียอันตรายไวไฟ	2

หมายเหตุ ระดับความเสี่ยง ตัวเลข 1 หมายถึงมีความเสี่ยงเล็กน้อย ตัวเลข 2 หมายถึงความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แต่ต้องมีการทบทวนมาตรการควบคุม ตัวเลข 3 หมายถึง ความเสี่ยงสูง ต้องมีการดำเนินงานเพื่อลดความเสี่ยง และหมายเลข 4 หมายถึงความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ต้องหยุดการดำเนินงานและต้องปรับปรุง เพื่อลดความเสี่ยงลงทันที

แนวทางแก้ไขและการป้องกันความเสี่ยง

เพื่อลดระดับความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดอุบัติเหตุจากการจัดเก็บน้ำมันปิโตรเลียมปริมาณมากกว่า 38 ลิตร ไว้ภายในอาคารเก็บสารเคมี การควบคุมความเสี่ยงที่อาจเกิดอุบัติเหตุจากเพลิงไหม้ของเสียอันตรายจากสารไวไฟจึงมีความจำเป็น ดังนั้นควรจัดหาตู้เหล็กชนิดจัดเก็บของเสียอันตรายประเภทสารไวไฟโดยเฉพาะเพิ่มเติม นอกจากนั้นการนัดหมายให้บริษัทผู้รับกำจัดของเสียอันตราย มารับน้ำมันปิโตรเลียมก่อนกำหนดรอบการส่งกำจัด ประจำปีงบประมาณก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งสามารถทำได้เช่นเดียวกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ นันทวรรณ จินากุล⁶ ซึ่งได้อธิบายว่าการไม่มีตู้สำหรับเก็บของเสียอันตรายที่เป็นสารไวไฟโดยเฉพาะ ที่มีปริมาณมากกว่า 38 ลิตร มีความเสี่ยงทำให้เกิดเพลิงไหม้ และนำมาซึ่งความเสียหายได้

ฉัตรชัย วิริยะไกรกุล⁷ นำเสนอบทความวิจัยเรื่อง การพัฒนาตัวอย่างห้องปฏิบัติการวิจัยปลอดภัยในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาห้องปฏิบัติการวิจัยที่มีความปลอดภัยสำหรับดำเนินการทดลอง นอกจากนั้นยังศึกษาและค้นหาแนวทางการขยายผลการสร้างความปลอดภัยให้เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการ ตามโครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการในประเทศไทย (Enhance of Safety Practices in Research Laboratory in Thailand, ESPReL) พบว่าห้องปฏิบัติการภาคีของโครงการยกระดับจำนวน 23 ห้อง มีห้องปฏิบัติการต้นแบบในด้านความปลอดภัยจำนวน 4 ห้อง ที่ผ่านเกณฑ์ในด้านความร่วมมือเกณฑ์การสนับสนุนการปรับปรุงด้านกายภาพ และเกณฑ์ความพร้อมของห้องปฏิบัติการทั้ง 7 ด้าน รวม 148 ข้อ การพัฒนาห้องปฏิบัติการควรดำเนินการจากระดับหน่วยงานย่อยได้แก่ภาควิชา ต่อเนื่องมาสู่ระดับองค์กรได้แก่คณะหรือมหาวิทยาลัย และในท้ายสุดเข้าสู่ระดับภาพรวม (สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ, วช)

พรเพ็ญ กำนารายณ์³ ดำเนินการสำรวจโดยการชี้บ่งอันตรายและวิเคราะห์ความเสี่ยง ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การแพทย์ จำนวน 6 ห้องปฏิบัติการ แบ่งเป็น 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มห้องปฏิบัติการกลาง และกลุ่มห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ โดยใช้เครื่องมือ ESPReL Checklist พบว่า การจัดการของเสียอันตรายในกลุ่มห้องปฏิบัติการกลาง และกลุ่มห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ มีความปลอดภัยการร้อยละ 56.4 และ 25.6 ตามลำดับ มีการบันทึกข้อมูลของเสียอันตรายที่ใช้ในห้องปฏิบัติการในรูปแบบเอกสาร มีข้อมูลการจำแนกประเภทของของเสียสำหรับการบำบัด มีข้อมูลการจัดการของเสียอันตรายตามคำแนะนำการจัดการของเสีย ตามเอกสารข้อมูลความปลอดภัย (Safety Data Sheet, SDS) ในขณะที่ของเสียอันตรายบางส่วน ที่ไม่สามารถบำบัดได้เองภายในหน่วยงาน ได้ว่าจ้างให้บริษัทที่ได้รับใบอนุญาตอย่างถูกต้อง เข้ามานำของเสียอันตรายไปดำเนินการบำบัดอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

สรุปผลการวิจัย

การสำรวจพื้นที่อาคารเก็บสารเคมี และการชี้บ่งอันตรายด้วยการประเมินความเสี่ยงระบบการจัดการของเสียอันตรายที่ส่งผลกระทบต่อบุคคล และทรัพย์สินด้วยวิธี ESPReL checklist ตามมาตรฐาน มอก.2677-2558 มาเป็นแนวทางการปฏิบัติ มีข้อบกพร่องจำนวน 5 รายการ มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุอยู่ในระดับต่ำ การดำเนินงานโดยการปรับปรุงโดยการรวบรวมข้อมูลการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ จำแนกประเภทของเสียอันตราย เคลื่อนย้ายสถานที่จัดเก็บของเสียอันตราย เปลี่ยนภาชนะบรรจุของเสียอันตราย ติดป้ายฉลากระบุประเภทของเสียอันตราย จัดทำระบบบันทึกข้อมูลของเสียอันตราย และรายงานความเคลื่อนไหวของเสียอันตรายก่อนส่งกำจัด ซึ่งใช้ระยะเวลา 90 วัน พื้นที่จัดเก็บของเสียอันตรายลดลงเหลืออยู่ที่ 2.6 ตารางเมตร และใช้งบประมาณสำหรับการจัดซื้อวัสดุรวมเป็นเงินทั้งสิ้น 9,000 บาท

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก คณะ
วิทยาศาสตร์ประยุกต์ มจพ. เลขที่สัญญา 6141106

เอกสารอ้างอิง

1. วรพจน์ กนกกันทพงษ์. การจัดการของเสียอันตรายในห้องปฏิบัติการ. วารสาร มฉก.วิชาการ. 2550 ; 11(21) : 95-102.
2. กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือการจัดการของเสียของห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม. 2547.
3. พรเพ็ญ กำนารายณ์. ผลการสำรวจชี้บ่งอันตรายและวิเคราะห์ความเสี่ยงในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การแพทย์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2558 ; 23(4) : 667-681.
4. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4699 (พ.ศ. 2558) เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ระบบการจัดการด้านความปลอดภัย ของห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับสารเคมี เล่ม 1. ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 132 ตอนพิเศษ 229 ง ลงวันที่ 23 กันยายน พ.ศ. 2558.
5. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4700 (พ.ศ. 2558) เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมระบบการจัดการด้านความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับสารเคมี เล่ม 2. ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 132 ตอนพิเศษ 229 ง ลงวันที่ 23 กันยายน พ.ศ. 2558.
6. นันทวรรณ จินากุล. การประเมินความเสี่ยงด้านระบบการจัดการของเสียอันตรายจากสารเคมีในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา. บุรพาเวชสาร. 2561 ; 5(1) : 36-51.
7. ฉัตรชัย วิริยะไกรกุล. การพัฒนาตัวอย่างห้องปฏิบัติการวิจัยปลอดภัย ในประเทศไทย. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2558 ; 64: 33-46.

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งบทความวิจัยเพื่อรับการพิจารณาลงตีพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิกและไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน รวมถึงไม่อยู่ระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลงแก้ไข เนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้ เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล และนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ แต่จะเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษร่วมกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษ ควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์

3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร **Browallia New**

3.1 ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด **18 pt. ตัวหนา**

3.2 ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวปกติ**

3.3 หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวหนา**

3.4 หัวข้อรองใช้อักษรขนาด **14 pt. ตัวหนา**

3.5 บทคัดย่อและเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt. ตัวบาง**

3.6 เชิงอรรถอยู่หน้าแรกที่เป็นรายละเอียดชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด 12 pt.

ตัวบาง และใส่ Corresponding author

4. ผู้พิมพ์จะต้องจัดเตรียมต้นฉบับในรูปแบบของไฟล์ “.doc” (MS Word) และ “.pdf” (Portable Document Format)

5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง

6. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)

7. การส่งบทความ ส่ง online ผ่านระบบ ThaiJo โดยสามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ www.journal.msu.ac.th

8. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะจัดส่งคืนผู้พิมพ์เพื่อปรับแก้ไข ก่อนเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา ซึ่งอาจทำให้กระบวนการตีพิมพ์ล่าช้า

บทความวิจัย/บทความวิชาการ ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลักของงานวิจัย ไม่ใช่คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร

ชื่อผู้พิมพ์ [Author(s)] และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้พิมพ์ไว้เป็นเชิงบรรณของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหา ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ ผลการค้นพบที่สำคัญ และสรุป มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยบทคัดย่อภาษาอังกฤษมีความยาวไม่เกิน 300 คำ สำหรับบทคัดย่อภาษาไทยให้สอดคล้องกับบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

คำสำคัญ (Keywords) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่เกิน 5 คำ ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีรายงานการศึกษาทบทวนหน้า

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัสดุอุปกรณ์ สิ่งื่อนำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปลผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อน และมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิประกอบการรายงานผลการศึกษา

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) การอภิปรายผลการศึกษาว่าตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ ผู้พิมพ์อาจมีข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือตั้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่อง โดย เรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) ระบุนางานวิจัยได้รับการสนับสนุนงบประมาณ หรือสนับสนุนด้านอื่นๆ รวมถึงความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ระบุนายการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ APA Style ดังตัวอย่าง สามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ www.journal.msu.ac.th

เอกสารอ้างอิงให้เขียนตามรูปแบบ “Publication Manual of the American Psychological Association” (7th Edition)

1. หนังสือ (ในรูปแบบรูปเล่ม)

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). *ชื่อเรื่อง* (พิมพ์ครั้งที่). สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง:

วิธาน ฐานะวุฑฒิ. (2547). *หัวใจใหม่-ชีวิตใหม่*. ปิติศึกษา.

2. บทความในวารสารอิเล็กทรอนิกส์

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, เลขของปีที่(เลขของฉบับที่), เลขหน้า. /<https://doi.org/เลขdoi>

ตัวอย่าง:

มานะ สินธุวงษานนท์. (2549). ปัจจัยส่งเสริมการจัดการศึกษาที่ส่งผลต่อคุณภาพนักเรียนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารครุศาสตร์*, 18(2), 115-116.

3. รายงานการประชุมเชิงวิชาการ (Proceeding)

ชื่อ-สกุล. (ปี). ชื่อบทความ. ใน/ชื่อบรรณานุกรม (บ.ก.), ชื่อหัวข้อการประชุม. ชื่อการประชุม (น. เลขหน้า). ฐานข้อมูล.

ตัวอย่าง:

พัชรภา ดันติชูเวช. (2553). การศึกษาทั่วไปกับคุณลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ในประเทศมาเลเซีย และสิงคโปร์ ศึกษาโดยเปรียบเทียบกับประเทศไทย. ใน ศิริชัย กาญจนวาสิ (บ.ก.), *การขับเคลื่อนคุณภาพการศึกษาไทย. การประชุมวิชาการและเผยแพร่ ผลงานวิจัยระดับชาติ* (น. 97-102). คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

4. หนังสือพิมพ์และหนังสือพิมพ์ออนไลน์

ชื่อสกุล. (ปี, /วัน/เดือน). ชื่อคอลัมน์. ชื่อหนังสือพิมพ์, เลขหน้า.

ตัวอย่าง:

พงษ์พรรณ บุญเลิศ. (2561, 15 สิงหาคม). เติลนิวส์ว่าไรดี: 'สื่อพิพิธภัณฑ' เชื่อม ยุคสมัย เข้าถึงด้วย 'มิติใหม่' อินเทอร์เน็ต. *เติลนิวส์*, 4.

5. หนังสือ (ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์)

ชื่อ สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง (พิมพ์ครั้งที่). URL

ตัวอย่าง:

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *หลักสูตรการศึกษาปฐมวัย พุทธศักราช 2560 สำหรับเด็กอายุ ต่ำกว่า 3-5 ปี*. http://drive.google.com/file/d/1HiTwiRh1Er73h_VYIMh1cYWzQiaNI_Vc/view

Intruccion for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are accepted from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be revised as appropriate to the standard. The manuscript must be interesting topic, review knowledge, modern knowledge, and academic comments that are beneficial to readers. The journal publishes 6 issues a year. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December).

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. The use of Thai language adheres to the principles of vocabulary, transliteration in English according to the principles of the Royal Society of Thailand. Manuscript should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. Mixing Thai and English should be avoided except for the case of necessity, such as academic vocabulary with no translation or mixing words for easier understanding. English vocabulary written in Thai must use all lowercase except for unique names. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscript should be on A4 standard size paper. Each side must have 1" margins with 2 columns.

3. Browallia New font is required with font size as follows:

3.1 Title of the article: **18 pt. Bold**

3.2 Name(s) of the authors: **16 pt. Unbold**

3.3 Main Heading: **16 pt. Bold**

3.4 Sub-heading: **14 pt. Bold**

3.5 Body of the text: **14 pt. Unbold**

3.6 Footnotes for authors and their affiliations: **12 pt. Unbold**, must be cited at the bottom of the first page. Academic position and corresponding author must be added at footnotes.

4. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" and ".pdf" (Portable Document Format)

5. The number of pages are limited to 12 pages, including references, tables, graphs, or pictures.

6. Types of manuscripts: research articles and review articles.

7. Manuscript submission: online submission via www.journal.msu.ac.th

8. Manuscript with uncorrected format will be sent back to the author before review process which can delay the publication process.

Research article / review article must be in sequence as follows:

Title: denoted in both Thai and English, must be concise and specific to the point, normally less than 100 characters.

Name(s) of the author(s) : denoted with affiliation must be in Thai and English, academic position must be specified, and email address for contact the author.

Abstract: This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important of findings. The abstract must include objectives, findings, and conclusion. Thai and English abstract is required. The English abstract is restricted to **300 words**. Thai abstract should be relevant to English version.

Keywords: Give 4-5 concise words to specify your article

Introduction: This section is the initial part of the article, contain information about background, reasons, purposes, and review section.

Materials and Methods: A discussion of the materials used, and a description clearly detailing how the experiment was undertaken, e.g., experimental design, data collection and analysis, and interpretation

Results: Present the output. Li the information in complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

Discussion and Conclusion: Discuss how the results are relevant/oppose to the objective and hypothesis. How the result is different/relevant when comparing to the former findings. Give us your reason why result is like that base on reliable researches. This part should end with suggestions for research utilization or providing questions for future studies.

Tables, figures, diagrams: Selected only necessary objects to insert in the body of manuscript in accordance with the description in the text. The short description is required in English with completely meaningful. For figures and diagrams, the description is below the picture. But, for table, the description is on top of the table.

Acknowledgement: the name of the persons, organization, or funding agencies who helped support the research are acknowledged in this section.

References: listed and referred in APA.

Reference are written in “Publication Manual of the American Psychological Association” (7th Edition)

1. Book

Mertens, D.M. (2014). *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods* (4th ed.). SAGE.

2. Academic Journal

Herbst-Damm, K.L., & Kulik, J.A. (2005). Volunteer support, marital status, and the survival times of terminally ill patients. *Health Psychology*, 24, 225-229. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.24.2.225>

3. Conference Proceeding

Katz, I., Gabayan, K., & Aghajan, H. (2007). A multi-touch surface using multiple cameras. In J. Blanc-Talon, W. Philips, D. Popescu, & P. Scheunders (Eds.), *Lecture notes in computer science: Vol. 4678. Advanced concepts for intelligent vision systems* (pp. 97-108). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74607-2_9

4. Newspaper / Online Newspaper

Brody, J.E. (2007, December 11). Mental reserves keep brain agile. *The New York Times*. <http://www.nytimes.com>

5. E-book

Dahlberg, G., & Moss, P. (2005). *Ethics and politics in early childhood education*. <https://epdf.tips/ethics-and-politics-in-early-childhoodeducation-contesting-early-childhood.html>

Aim and Scope:

The Journal of Science and Technology aims to disseminate of scientific knowledge in the discipline of Mathematics, Science, Technology, Engineering, Agriculture, Medicine, Health Science, Interdisciplinary in science and technology. The journal publishes both research article and review article.

Ownership

Maharakham University
Editorial Office
Division of Research Facilitation and Dissemination,
Khamriang Sub-distict, Kantharawichai District,
Maha Sarakham Province 44150
Tel & Fax: 0 4375 4238 ext. 1754

Advisors

President of Maharakham University
Professor Dr. Visut Baimai
Professor Dr. Vichai Boonsaeng

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

Professor Dr.Pairot Pramual
Maharakham University
Professor Dr.Sirithon Siriamornpun
Maharakham University
Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich
Maharakham University
Associate Professor Dr.Vallaya Sutthikhum
Maharakham University

Editorial Board

Professor Dr.Thaweesakdi Boonkerd
Chulalongkorn University
Professor Dr.La-orsri Sanoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Supannee Promthet
Khon Kaen University
Professor Dr.Pranee Anprung
Chulalongkorn University
Professor Dr.Niwat Sonoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Anongrit Kangrang
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sunan Saikrasun
Maharakham University
Associate Professor Dr.Suwanna Boonyaleepun
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Kwanjai Kanokmedhakul
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Chantana Aromdee
Khon Kaen University

Associate Professor Dr.Boonchong Chawsithiwong
National Institute of Development Administration
Associate Professor Dr.Porntep Tanonkeo
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Narumon Sangpradub
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Terdsak Khammeng
Khon Kaen University
Associate Professor Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Associate Professor Dr.Orawich Goompol
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Chawalit Boonpok
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Napparat Buddhakala
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assistant Professor Dr.Anucha Pranchana
Ubon Ratchathani Rajabhat University
Assistant Professor Dr.Seckson Sukhasena
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Apinya Wongpiriyayothar
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Alongkorn Lamom
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Natapol Pumipuntu
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Somnuk Puangpronpitag
Maharakham University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Adrian R. Plant
Maharakham University

Secretary

Chaweewan Akkasesthang

Assistant secretary

Phakwilai Rungwisai
Jirarat Puseerit

Six issues per year

Number 1 January-February
Number 2 March-April
Number 3 May-June
Number 4 July-August
Number 5 September-October
Number 6 November-December